

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií**

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

## **Návrh měřicího a řídicího systému pro zjišťování vznětlivosti motorových paliv**

## **Design of measuring and control system for inflammability engine fuel detection**

### **Diplomová práce**

Autor:

**Tomáš Zvolský**

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Konzultant:

Doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

**V Liberci 2.1.2007**

Originál zadání

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 2. ledna 2007

Podpis:

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi a konzultantovi Doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc. za jejich čas, odbornou pomoc, připomínky a cenné rady.

## **ABSTRAKT:**

Diplomová práce se zabývá možnostmi určování vznětlivosti motorových paliv, nebo-li cetanového čísla. Řeší návrh elektronické části zařízení na měření vznětlivosti motorových paliv. Popisuje jednotlivé části elektronické jednotky. Jedná se o elektronický systém pro řízení vstřiku paliva do spalovací komory zařízení, systém pro ovládání pomocných ventilů a topného tělesa a systém pro měření teploty ve spalovací komoře, průběhu tlaku a zdvihu jehly vstřikovače.

Součástí práce je rovněž určení metody pro vyhodnocení cetanového čísla paliva, program pro zobrazení výsledné hodnoty cetanového čísla, průběhu tlaku a zdvihu jehly vstřikovače a sestavení funkčního vzorku elektronické části zařízení včetně ověření jeho funkce.

Klíčová slova: měření, cetanové, číslo, zařízení, paliva

## **ABSTRACT:**

This Diploma Thesis deals with possibilities of determine short temper engine fuel, otherwise cetan number. It solves design of electronic device part for measuring cetan number. It describes component parts of electronic unit. There are discussed electronic system for fuel injection control to combustion chamber of device, system for auxiliary valve control and heating element and measurement of temperature in combustion chamber, pressure progression and injector needle lift.

Determination of method for evaluate cetan number of fuel, program for display final value of cetan number, pressure progression and injector needle lift and function sample of the electronic part of device with its verification are included in this Diploma Thesis.

Keywords: measure, cetan, number, device, fuel

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1. MOŽNOSTI URČOVÁNÍ VZNĚTLIVOSTI MOTOROVÝCH PALIV .....</b>	<b>10</b>
1.1 Charakteristika cetanového čísla .....	10
1.2 Motorová metoda .....	11
1.3 Stanovení cetanového indexu laboratorní metodou .....	11
1.4 Stanovení cetanového čísla z infračerveného spektra .....	11
1.5 Stanovení cetanového čísla pomocí průtahu vznícení .....	12
<b>2. MĚŘENÍ CETANOVÉHO ČÍSLA POMOCÍ PRŮTAHU VZNÍCENÍ .....</b>	<b>13</b>
2.1 Sestava zařízení .....	13
2.2 Postup při měření cetanového čísla .....	14
2.3 Princip vstřikování paliva .....	15
2.4 Postup při vstřikování paliva .....	16
<b>3. ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY PŘÍPRAVY VZDUCHU A VSTŘIKU PALIVA ..</b>	<b>18</b>
3.1 Ovládání pomocných ventilů V1 až V4 .....	18
3.2 Elektronický systém pro vytápění spalovací komory .....	19
3.3 Řídicí elektronika pro vysokotlaký elektromagnetický ventil W1 .....	19
3.3.1 Řízení proudu cívkou ventilu .....	20
3.3.2 Elektronický systém zvýšeného napětí pro rychlé zavření ventilu .....	22
3.3.3 Spínaný zdroj pro zvýšené napětí .....	23
3.3.4 Princip rychlého otevření ventilu .....	24
3.4 Řídicí elektronika pro vysokotlaký elektromagnetický ventil W2 .....	25
<b>4. ELEKTRONIKA PRO MĚŘENÍ .....</b>	<b>26</b>
4.1 Měření průběhu tlaku .....	26
4.1.1 Nábojově citlivý zesilovač .....	26
4.1.2 Nastavení časové konstanty .....	27
4.1.3 Kompenzace vstupní nesymetrie operačního zesilovače .....	27
4.1.4 Zpracování signálu nábojového zesilovače pro mikrokontrolér .....	28
4.2 Měření zdvihu jehly .....	28
4.3 Měření dalších fyzikálních veličin .....	29
4.3.1 Vstupní obvody pro měření teplot z termočlánků .....	29
4.3.2 Vstupní obvod snímače tlaku P1 .....	30
4.3.3 Měření dalších analogových signálů .....	31

<b>5. ŘÍDICÍ A POMOCNÉ SYSTÉMY JEDNOTKY .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Mikrokontrolér a paměti .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Sériová komunikace .....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Napájení řídicí jednotky a časové omezení .....</b>	<b>36</b>
<b>5.4 Stabilizované napájení řídicí desky jednotky .....</b>	<b>38</b>
<b>6. NÁVRH FUNKČNÍHO VZORKU ELEKTRONICKÉ JEDNOTKY .....</b>	<b>40</b>
<b>6.1 Desky tištěných spojů .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2 Umístění součástek v rozvaděči .....</b>	<b>40</b>
<b>6.3 Panel ručního ovládání ventilů .....</b>	<b>40</b>
<b>7. SOFTWARE PRO STANOVENÍ CETANOVÉHO ČÍSLA .....</b>	<b>42</b>
<b>7.1 Program mikrokontroléru .....</b>	<b>42</b>
<b>7.2 Program pro počítač .....</b>	<b>43</b>
7.2.1 Stanovení doby průtahu vznícení paliva .....	44
7.2.2 Stanovení výsledné hodnoty cetanového čísla .....	44
<b>8. ODZKOUŠENÍ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>45</b>
<b>8.1 Ventily V1 až V4 .....</b>	<b>45</b>
<b>8.2 Topení .....</b>	<b>45</b>
<b>8.3 Vysokotlaké ventily W1 a W2 .....</b>	<b>45</b>
<b>8.4 Měření tlaku piezoelektrickým čidlem .....</b>	<b>45</b>
<b>8.5 Měření zdvihu jehly .....</b>	<b>46</b>
<b>8.6 Měření teplot .....</b>	<b>46</b>
<b>8.7 Měření tlaku .....</b>	<b>46</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>49</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>50</b>

**SLOVNÍK ZNAKŮ, SYMBOLŮ A JEDNOTEK**

C1	kapacita kondenzátoru C1	[F]
CČ	cetanové číslo	[-]
CI	cetanový index	[-]
CN <sub>IQT</sub>	hodnota výsledného cetanového čísla přístroje IQT	[-]
D	hustota vzorku při 15° C	[g/cm <sup>3</sup> ]
T	teplota, při které predestiluje 50 % obj. vzorku	[°C]
ID <sub>IQT</sub>	průtah vznícení naměřený přístrojem IQT	[ms]
k <sub>piezo</sub>	konstanta piezoelektrického snímače tlaku	[pC/ bar]
p <sub>max</sub>	maximální měřený tlak piezoelektrickým snímačem tlaku	[bar]
Q	náboj	[C]
U <sub>max</sub>	maximální napětí na kondenzátoru C1	[V]



## ÚVOD

Schopnost vznícení motorových paliv se vyjadřuje cetanovým číslem. Ve třicátých letech minulého století se cetanové číslo začalo měřit na zkušebním jednoválcovém motoru. Protože zkouška na motoru je poměrně náročná, hledal se jiný způsob měření. Jedním z nich se zabývá tato práce.

Zařízení se skládá z mechanické a elektronické části. Předmětem této diplomové práce je návrh elektronické části zařízení, nebo-li elektronické jednotky na měření vznětlivosti motorových paliv. Součástí práce je také návrh a sestavení funkčního vzorku elektronické jednotky pro hodnocení vznětlivosti paliv. Mechanická část je paralelně zpracovávána s touto prací na zdejší strojní fakultě.

Úvodní část je věnována teoretické části měření vznětlivosti paliv, nebo-li cetanového čísla. Princip měření na zařízení popsaném v této práci spočívá ve vstříknutí přesně definované dávky paliva do komory s ohřátým stlačeným vzduchem. Hodnota cetanového čísla je nepřímo úměrná době průtahu vznícení paliva.

Převážná část práce je věnována návrhu jednotlivých elektronických obvodů. Součástí práce je také naprogramování jednočipového mikropočítače a zhotovení programu pro znázornění výsledné hodnoty cetanového čísla včetně průběhu tlaku a zdvihu jehly vstřikovače.

Praktická část se zabývá sestavením a ověřením funkčního vzorku.

## 1. MOŽNOSTI URČOVÁNÍ VZNĚTLIVOSTI MOTOROVÝCH PALIV

### 1.1 Charakteristika cetanového čísla

Cetanové číslo (CČ nebo CN) charakterizuje schopnost vznícení paliva. Udává množství cetanu (CČ = 100) s dobrou schopností vznícení ve směsi s 1-metylnaftalenem (CČ = 0), který je naopak poměrně odolný proti vznícení. Místo 1-metylnaftalenu se někdy používá alkan 2,2,4,4,6,8,8-heptametylnonan, který má CČ = 15.

Cetanové číslo ovlivňuje celou řadu funkcí motoru, například snadný studený start, hluk a pochopitelně i emise. Velmi malé cetanové číslo má negativní vliv i na výkon a spotřebu paliva.

Při studeném startu vznětového motoru se palivo s vyšším cetanovým číslem vznítí snáze. Minimální hranice CČ pro studený start je kolem 40 jednotek, pro snadný studený start nad 50 jednotek.

Vliv cetanového čísla na výkon motoru je zanedbatelný. Pro blízkou budoucnost se počítá se zvýšením požadavku na cetanové číslo na minimálně 58 jednotek. Moderní motory s elektronicky řízeným vstřikováním budou pravděpodobně schopny, vzhledem k možnosti dokonalé regulace začátku a průběhu vstřiku, využít přednosti paliva s vyšším cetanovým číslem i ke zvýšení výkonu, zejména při velkých otáčkách.

Cetanové číslo má také významný vliv na hluk motoru, který je kombinací spalovacího a mechanického hluku. Ve vznětovém motoru se palivo vzněcuje krátce po začátku vstříknutí. Během tohoto krátkého okamžiku se musí palivo odpařit a smísit se vzduchem. V následující fázi hoření plamenem dochází k rychlému uvolňování tepla a rychlému nárůstu tlaku ve spalovacím prostoru. Rychlý nárůst tlaku způsobuje tvrdý chod, který se projevuje u některých motorů velmi slyšitelným hlukem. Zvýšením cetanového čísla se zkracuje délka okamžiku zpoždění zážehu a zmírňují se projevy tvrdého chodu.

Vliv cetanového čísla na spotřebu paliva je poměrně malý. Pokud jde o vliv cetanového čísla paliva na emise, ten se považuje za významný pro snížení emisí CO, HC i pro snížení emisí částic.

Hodnota cetanového čísla se zjišťuje několika metodami:

- 1) motorová metoda
- 2) stanovení cetanového indexu laboratorní metodou
- 3) vyhodnocení z infračerveného spektra
- 4) stanovení cetanového čísla pomocí průtahu vznícení

## 1.2 Motorová metoda

Tato metoda je nejvíce známou a nejvíce používanou metodou stanovení cetanového čísla již od dvacátých let minulého století. Motor má plynule měnitelný kompresní poměr, ale nikoliv jako motor pro stanovení oktanového čísla změnou polohy válce a hlavy, ale zasouváním horizontálně uloženého pístu (plunžru) jemným šroubovým mechanismem do spalovacího prostoru, a pracuje za stálých podmínek. Princip zkušební postupu je podobný jako u stanovení OČ, tj. srovnávání parametrů vznícení s referenčními palivy. Protože motorová zkouška je poměrně náročná, hledají se další rychlejší metody získání hodnot cetanového čísla.

## 1.3 Stanovení cetanového indexu laboratorní metodou

Cetanový index byl zaveden pro porovnání diesellových paliv z hlediska jejich cetanového čísla. K výpočtu cetanového indexu stačí znát hustotu a vybrané body destilační křivky paliva. Číselně jsou si hodnoty CI a CC velice podobné. Existuje více matematických vztahů pro výpočet CI. Např. výpočet CI podle normy ASTM D976 je založen na znalosti hustoty a teploty, při které predestiluje 50 % objemu zkoušeného paliva. Hodnota CI se pak vypočítá pomocí vztahu (1.1).

$$CI = 454,74 - 1641,416 \cdot D + 774,74 \cdot D^2 - 0,554 \cdot T + 97,803 \cdot (\log T)^2 \quad (1.1)$$

kde:  $D$  - hustota vzorku při 15° C vyjádřená v g/cm<sup>3</sup>

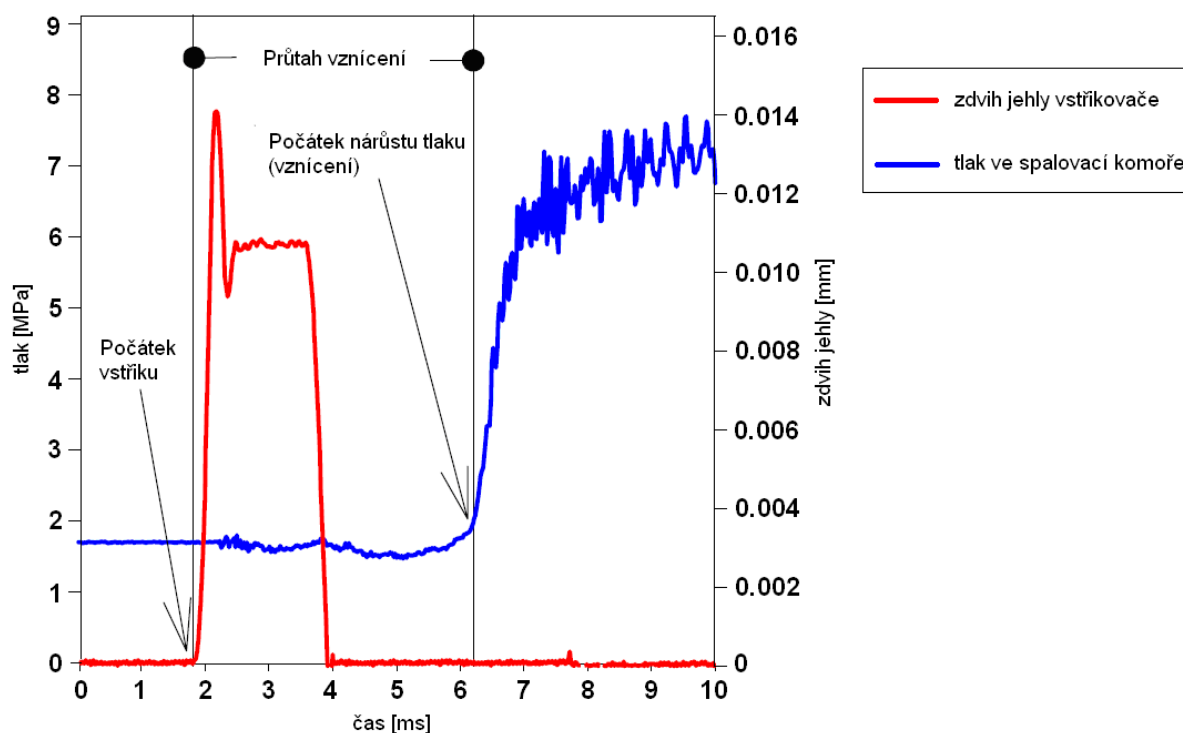
$T$  - teplota ve °C, při které predestiluje 50 % obj. vzorku

## 1.4 Stanovení CC z infračerveného spektra

Infračervená spektrometrie je založena na principu interakce elektromagnetického záření infračervené oblasti s molekulami analyzované látky. Při absorpci záření dochází ke změnám rotačních a vibračních stavů molekul. Tato metoda závisí na přesné kalibraci a matematickém algoritmu měřícího přístroje, samotná kalibrace vyžaduje několik měření vzorku paliva proměřeného na klasické motorové metodě.

### 1.5 Stanovení CČ pomocí průtahu vznícení

Princip této metody spočívá ve změření doby průtahu vznícení, tedy doby od počátku vstřiku měřeného paliva do počátku nárůstu tlaku (vznícení) jak je znázorněno na obr. 1-1.



Obr. 1-1: Průběh zdvihu jehly vstřikovače a tlaku ve spalovací komoře

Tohoto principu měření je použito při stavbě zařízení, jehož elektronický systém je popsán v této diplomové práci. Mechanická část zařízení je zhotovována paralelně s touto diplomovou prací na strojní fakultě zdejší univerzity.

V současné době jsou už přístroje na měření cetanového čísla pomocí průtahu vznícení na trhu. Jedním z nich je např. přístroj IQT (Ignition quality tester) firmy Waukesha Engine Division Dresser Industrie Inc. Toto zařízení se používá pro měření paliv s CČ od 33 do 60. Závislost cetanového čísla na průtahu vznícení u zařízení IQT udává vztah (1.2).

$$CN_{IQT} = 83,99 \cdot (ID_{IQT} - 1,512)^{-0,658} + 3,547 \quad (1.2)$$

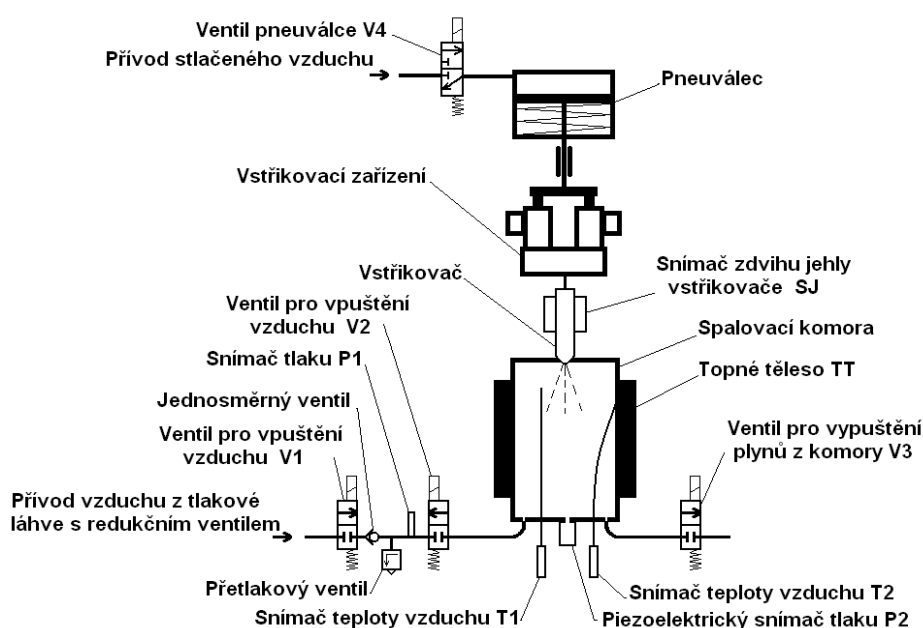
kde:  $CN_{IQT}$  - hodnota výsledného cetanového čísla přístroje IQT

$ID_{IQT}$  - průtah vznícení naměřený přístrojem IQT v ms

## 2. MĚŘENÍ CETANOVÉHO ČÍSLA POMOCÍ PRŮTAHU VZNÍCENÍ

### 2.1 Sestava zařízení

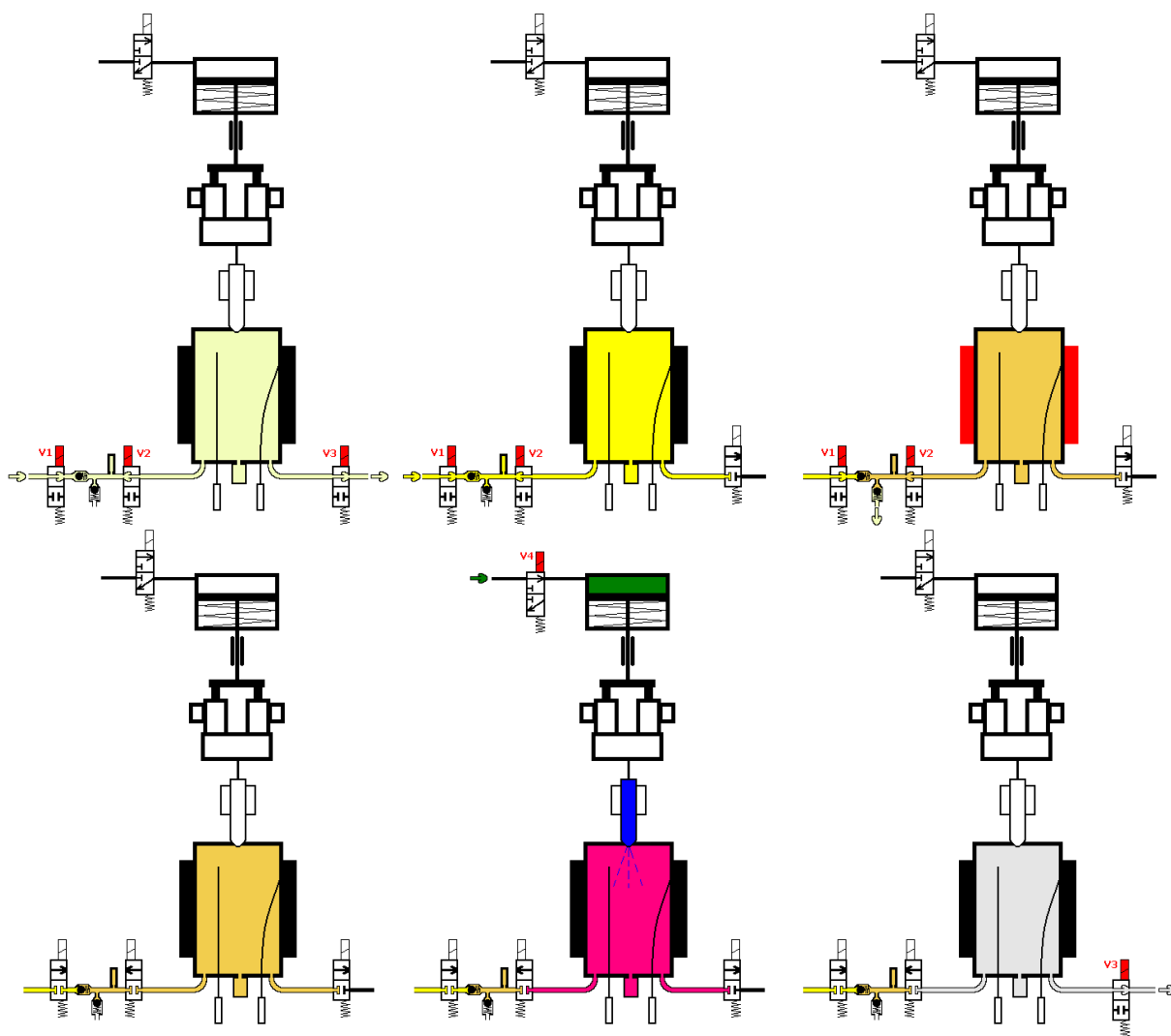
Hlavní částí zařízení na měření cetanového čísla je spalovací komora. Jedná se o válcovou nádobu ze silnostěnné trubky o objemu  $200 \text{ cm}^3$ . Do ní je umístěn vstřikovač s vestavěným snímačem zdvihu jehly SJ (použije se hotový díl z automobilu Škoda Octavia 1.9/66 kW). Snímač zdvihu jehly je indukční, indukované napětí je úměrné rychlosti pohybu jehly vstřikovače. Vstřikovač je tlakově spojen se vstřikovacím zařízením. Energie pro vstříknutí se získá z pneumatického válce ovládaného elektromagnetickým ventilem V4. Princip vstřikování bude popsán v kapitole 2.3. Vzduch do komory se vpouští z tlakové láhve s redukčním ventilem přes dva elektromagnetické ventily V1 a V2. Ventily musejí být dva, protože jejich konstrukce jim umožňuje udržet přetlak jen z jedné strany. Ventil V1 zavírá přívod vzduchu z tlakové láhve, ventil V2 zavírá spalovací komoru. Mezi ventily V1 a V2 je umístěn jednosměrný ventil, přetlakový ventil a snímač tlaku P1. Obsah komory se vypouští přes ventil V3. Ventily V1 až V3 jsou shodné. Jejich jmenovitý tlak je 10 MPa a sedla vydrží teplotu až  $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . I tak musí být potrubí spojující ventily s komorou dostatečně dlouhé, zejména potrubí pro spaliny. Ve spalovací komoře jsou umístěny dva termočlánky T1, T2 a piezoelektrický snímač tlaku P2. Jeden termočlánek slouží k měření teploty vzduchu v komoře, druhým se měří teplota stěny komory. Válcová část komory je opatřena topným tělesem TT, které slouží k ohřívání vzduchu ve spalovací komoře. Schéma měřicího zařízení je znázorněno na obr. 2-1.



Obr. 2-1: Schéma měřicího zařízení

## 2.2 Postup při měření cetanového čísla

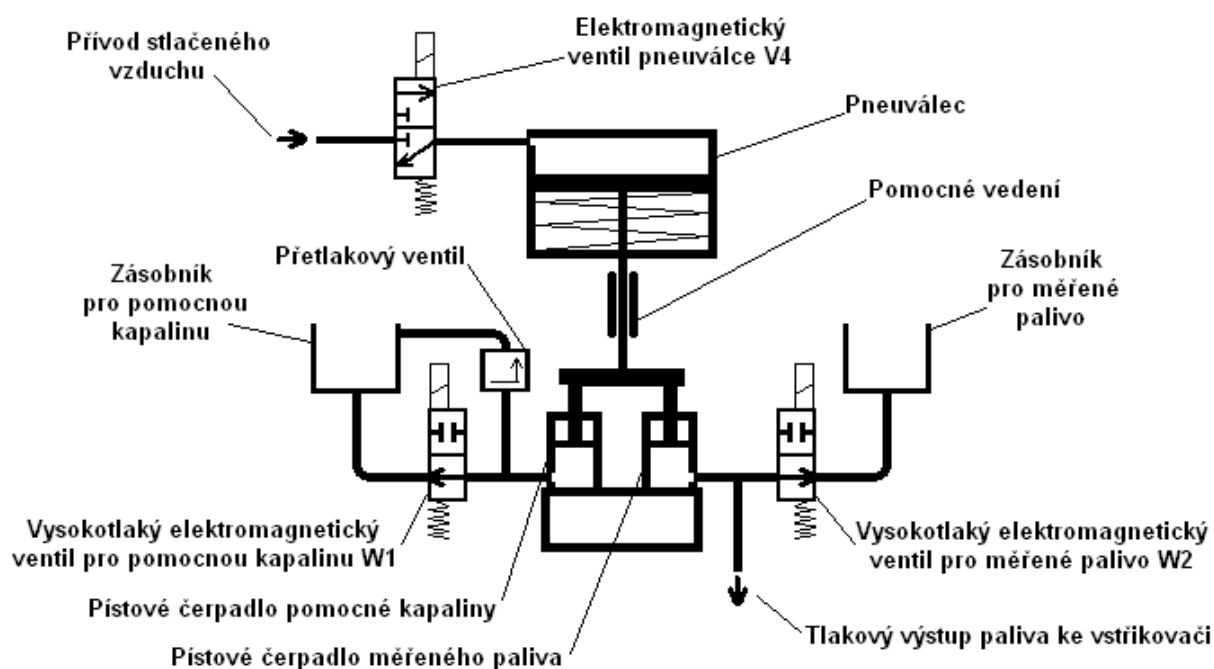
1. Nejprve se otevřením ventilů V1 až V3 pročistí spalovací komora vzduchem.
2. Uzavřením ventilu V3 se vytvoří tlak vzduchu ve spalovací komoře (např. 2 MPa).
3. Zapne se topné těleso TT. Tím se začne ohřívat vzduch v komoře a začne stoupat jeho tlak. Jestliže tlak v komoře dosáhne hodnoty nastavené na přetlakovém ventilu (např. 2,2 MPa), začne se vzduch z komory tímto ventilem odpouštět. Tím je nastaven tlak vzduchu na začátku měření. Teplotu stěny lze regulovat (měření termočlánkem T2).
4. Když teplota vzduchu v komoře (měří termočlánek T1) dosáhne nastavené hodnoty (např. 500 °C), vypne se topné těleso TT a uzavře se komora (zavře se V1 a V2).
5. Vstříkne se měřené palivo do komory (popsáno v kapitole 2.4) a zaznamená se pohyb jehly vstřikovače (snímač SJ) a průběh tlaku (piezoelektrický snímač tlaku P2).
6. Odpadní plyny se vypustí otevřením ventilu V3.



Obr. 2-2: Postup při měření cetanového čísla

## 2.3 Princip vstřikování paliva

Pro vstříknutí paliva do spalovací komory je nutné splnit určitá kritéria. Měřené palivo je nutné vstříknout pod vysokým tlakem (desítky MPa) a v krátkém čase (jednotky ms). Na začátku vstřikování se musí vstřikovací tlak dostat co nejrychleji na jmenovitou hodnotu a při ukončování vstřikování musí zase co nejrychleji klesnout na nulovou hodnotu. K tomuto účelu slouží vstřikovací zařízení, které je zobrazeno na obr. 2-3.



Obr. 2-3: Vstřikovací zařízení

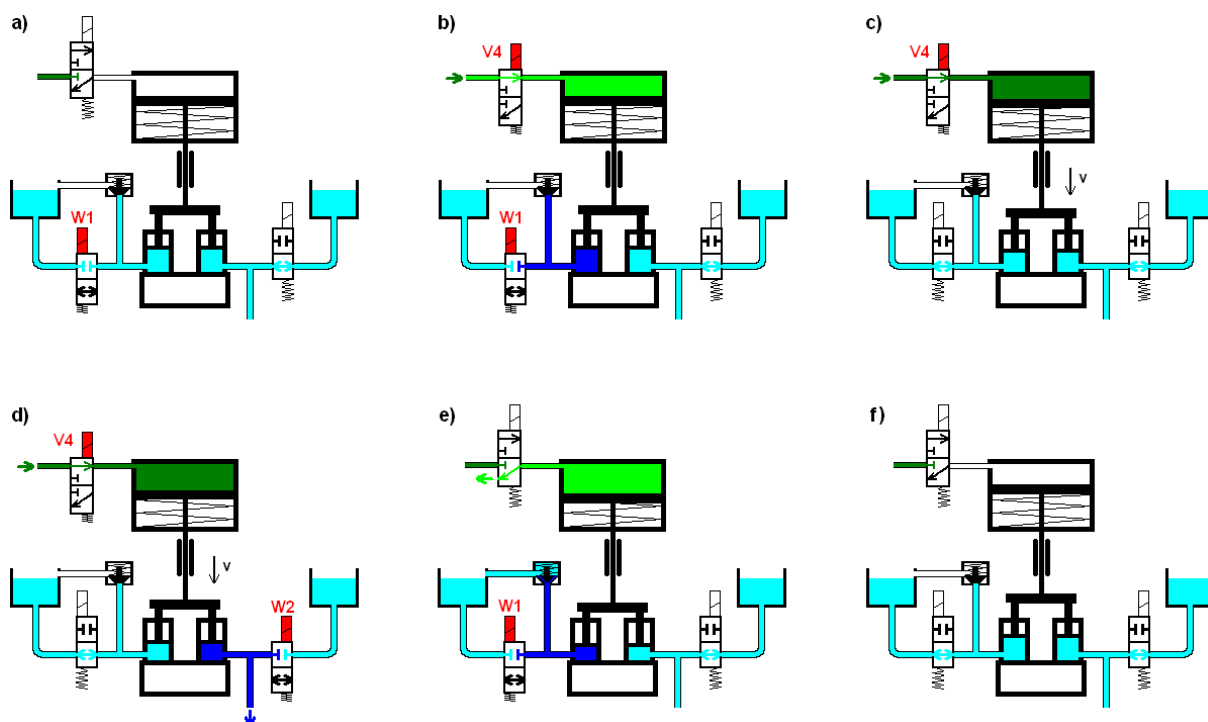
Hlavní částí vstřikovacího zařízení jsou dvě pístová čerpadla s vysokotlakými elektromagnetickými ventily W1 a W2. Jedno čerpadlo slouží jako zdroj tlaku pro vstřikované palivo, druhé čerpadlo je nutné pro správnou činnost vstřikovacího zařízení. Čerpadlo a vysokotlaký ventil jsou součástí sdružené vstřikovací jednotky používané u některých vznětových motorů. Pro tento případ byly vybrány dvě sdružené vstřikovací jednotky motoru vozu Škoda Fabia 1.4/59 kW, ze kterých se však odstraní vstřikovače (pro náš případ se nehodí, protože neobsahují snímač zdvihu jehly). Maximální vstřikovací tlak tohoto motoru je 205 MPa. Ventily jsou zároveň velmi rychlé. Dokáží zavírat a otevírat ve velmi krátkém čase, řádově stovky mikrosekund. Vstřikovací čas je v řádech milisekund. Proto jsou tyto ventily vhodné pro vstřikovací mechanismus zařízení na měření cetanového čísla.

K vyvození potřebné síly pro zavření ventilu a k dosažení krátkých zavíracích a otevíracích časů je však potřeba řízený průběh napětí a proudu cívkou elektromagnetu, což musí řídicí jednotka zařízení na měření cetanového čísla zvládnout.

Další součástí vstřikovacího zařízení je zásobník na měřené palivo, zásobník na pomocnou kapalinu a přetlakový ventil. Pneumatický válec slouží pro vytvoření potřebné síly při vstřikování. Vzduch do něj je ovládán elektromagnetickým ventilem V4.

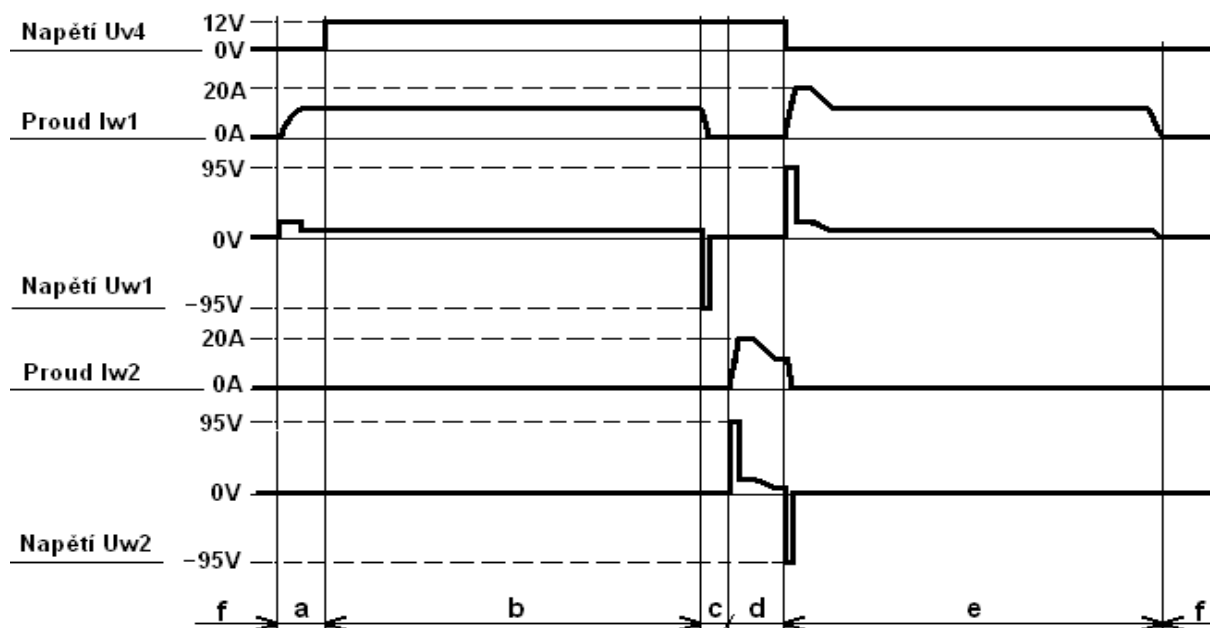
## 2.4 Postup při vstřikování paliva

- Zavře se ventil W1, tím se zabrání pohybu pístu pneuválce.
- Otevře se ventil V4, čímž se vpustí stlačený vzduch do pneuválce a vyvodí potřebná síla pro vstříknutí paliva.
- Otevře se ventil W1, píst pneuválce se začne pohybovat.
- Když píst pneuválce dosáhne správné rychlosti pro vstřík paliva, zavře se ventil W2, čímž se začne vstřikovat palivo.
- Po uplynutí doby pro vstřík paliva se otevře ventil W2, zavře ventil V4 a zavře ventil W1, píst pneuválce se zastavuje a zároveň se vypouští vzduch z pneuválce.
- Když je vzduch z pneuválce vypuštěn, otevře se ventil W1.



Obr. 2-4: Postup při vstřikování paliva





Obr. 2-5: Průběh napětí a proudů cívek ventilů W1, W2 a V4 při vstřikování paliva

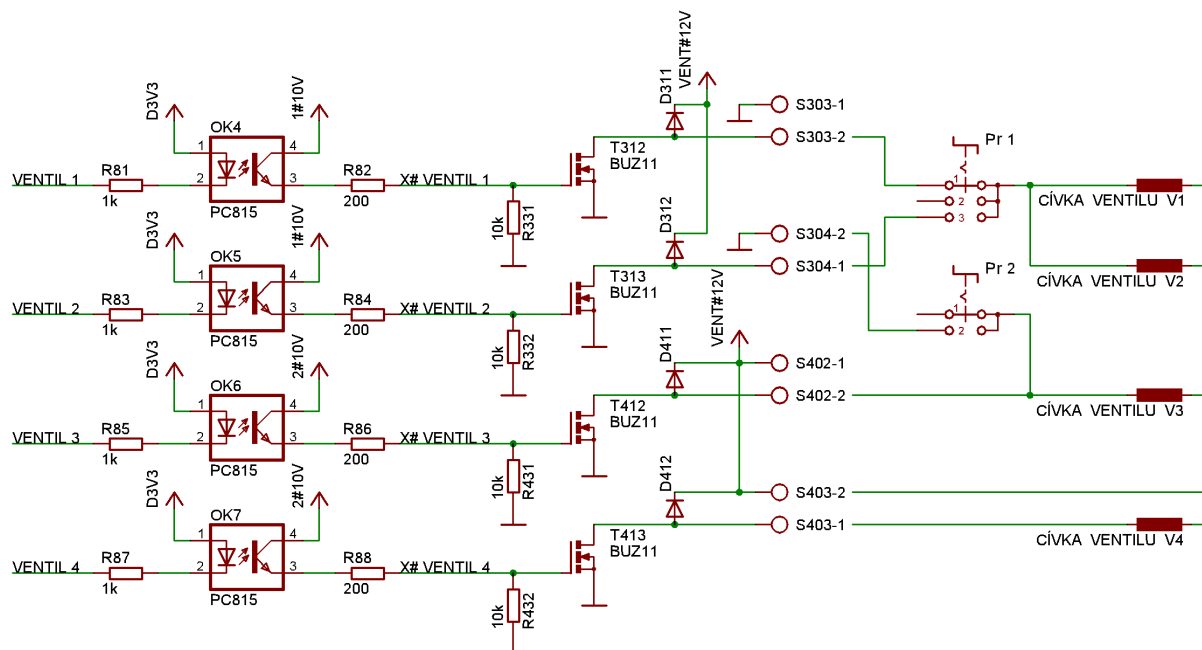
Na obr. 2-5 je znázorněn průběh napětí a proudů cívek vysokotlakých ventilů W1, W2 a ventilu pneuválce V4. Pro dosažení krátkých zavíracích a otevíracích časů vysokotlakých ventilů W1 a W2 je potřeba řízený průběh napětí a proudů cívkami těchto ventilů. Podrobněji bude tato problematika rozebrána v kapitole 3.3.

Časové intervaly „b“ až „e“ lze měnit softwarově. Nastavují se v programu na měření cetanového čísla – panel „Nastavení a data“ (popsáno v kapitole 7.2). Jednotlivé rozsahy jsou:

- |                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| - b – doba plnění pneuválce        | 100 až 1000 ms po 1 ms   |
| - c – doba rozběhu                 | 0 až 5 ms po 0,01 ms     |
| - d – doba vstříku                 | 0,05 až 10 ms po 0.01 ms |
| - e – doba vyprazdňování pneuválce | 100 až 1000 ms po 1 ms   |

### 3. ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY PŘÍPRAVY VZDUCHU A VSTŘIKU PALIVA

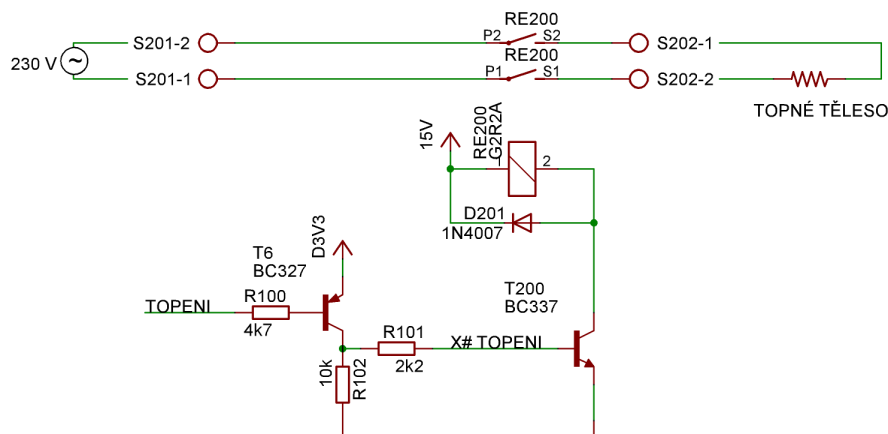
#### 3.1 Ovládání pomocných ventilů V1 až V4



Obr. 3-1: Schéma elektronického systému pro ovládání pomocných ventilů V1 až V4

Ventily V1 až V4 slouží k naplnění a vyprázdnění obsahu spalovací komory a k ovládání pohybu pneuválce vstřikovacího mechanismu. Jmenovité napětí těchto ventilů je 12 V a příkon 8 nebo 12 W. Schéma elektronického systému pro ovládání pomocných ventilů je znázorněno na obr. 3-1. Ventily V1 a V2 jsou elektricky propojeny. Přepínačem Pr1 je lze manuálně otevřít, zavřít, nebo přepnout na automatický režim ovládaný jednotkou (tranzistor T312). Přepínač Pr2 slouží k manuálnímu otevření ventilu vypouštění spalín z komory V3. Pokud je programem spuštěn systém měření cetanového čísla, zavře se tranzistor T313 a ventily V1 a V2 nelze manuálně otevřít. Ventil V3 zase nelze natrvalo manuálně zavřít, aby mohl být v případě potřeby otevřen jednotkou. Tím je zaručeno vypuštění plynů z komory. Pro spínání ventilů byl zvolen tranzistor BUZ11. Hradla příslušných tranzistorů se ovládají optrony OK4 až OK7, jejichž diody jsou přes rezistory R81 až R87 připojeny na port mikrokontroléru (signály VENTIL 1 až 4).

### 3.2 Elektronický systém pro vytápění spalovací komory



Obr. 3-2: Schéma elektronického systému pro vytápění spalovací komory

Pro ohřátí vzduchu ve spalovací komoře je tato komora opatřena topným tělesem. Topné těleso má příkon 1200 W a jmenovité napětí 230 V. Schéma elektronického systému pro vytápění spalovací komory je znázorněno na obr. 3-2. Napětí 230 V se přivádí k topnému tělesu přes spínací relé RE200. Cívka relé je ovládána pomocí tranzistorů T6 a T200 a rezistorů R100 až R102 signálem TOPENI, který je připojen na port mikrokontroléru.

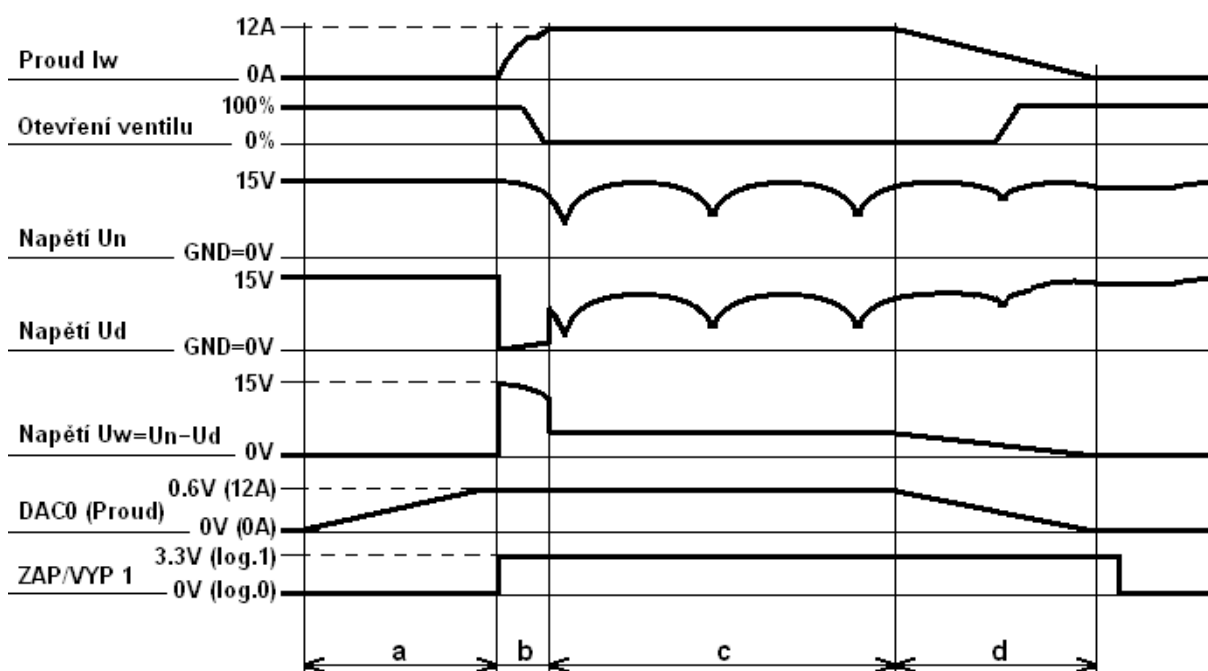
### 3.3 Řídicí elektronika pro vysokotlaký elektromagnetický ventil W1

K vyvození potřebné síly pro zavření vysokotlakého ventilu a k dosažení krátkých zavíracích a otevíracích časů je potřeba řízený průběh napětí a proudu cívkou elektromagnetu. Řídicí jednotka toto řízení napětí a proudu umožňuje. Schéma řídicí elektroniky pro vysokotlaký elektromagnetický ventil W1 je znázorněno na obr. 3-3. Zdroj napětí pro cívku elektromagnetu je připojen na svorkovnici S300. Cívka elektromagnetického ventilu W1 je připojena na svorkovnici S302. Hlavní silový okruh začíná napětím HLAVNI 12V, pokračuje přes diodu D304 a cívku ventilu k výkonovému regulačnímu prvku T311. Konec silového okruhu tvoří paralelně zapojené rezistory R321 až R330, které jsou spojeny s nulovým napěťovým potenciálem. Jako výkonový regulační prvek byl použit unipolární tranzistor IRFP 250. Jeho předností je rychlost otevírání a zavírání, nízká ovládací energie i při značných protékajících proudech a dokáže odvést potřebný ztrátový výkon, zejména při vyšších napětích  $U_{DS}$ .

### 3.3.1 Řízení proudu cívkou ventilu

Nezávisle na nastavené požadované hodnotě proudu lze zavřít výkonový tranzistor T311 otevřením tranzistoru T310. To je vhodné zejména pro dosažení rychlého otevření

ventilu. Tranzistor T310 je možné ovládat přes R93, T3 a R94 signálem ZAP/VYP 1, který je připojen na výstupní port mikrokontroléru. Zároveň je tranzistor T310 propojen přes diodu D310 s rezistory pro měření proudu a slouží jako proudové omezení. Jestliže obvodem začne protékat proud kolem 23 A, což odpovídá napětí na rezistorech R321 až R330 zhruba 1,1 V, začne se tranzistor T310 otevírat a tranzistor T311 zavírat. Ani na krátkou dobu tak nelze otevřít výkonový tranzistor T311 tak, aby jím tekly nekontrolované proudy. Příklad časového sledu napětí a proudu pro otevření a zavření ventilu je znázorněn na obr. 3-4.

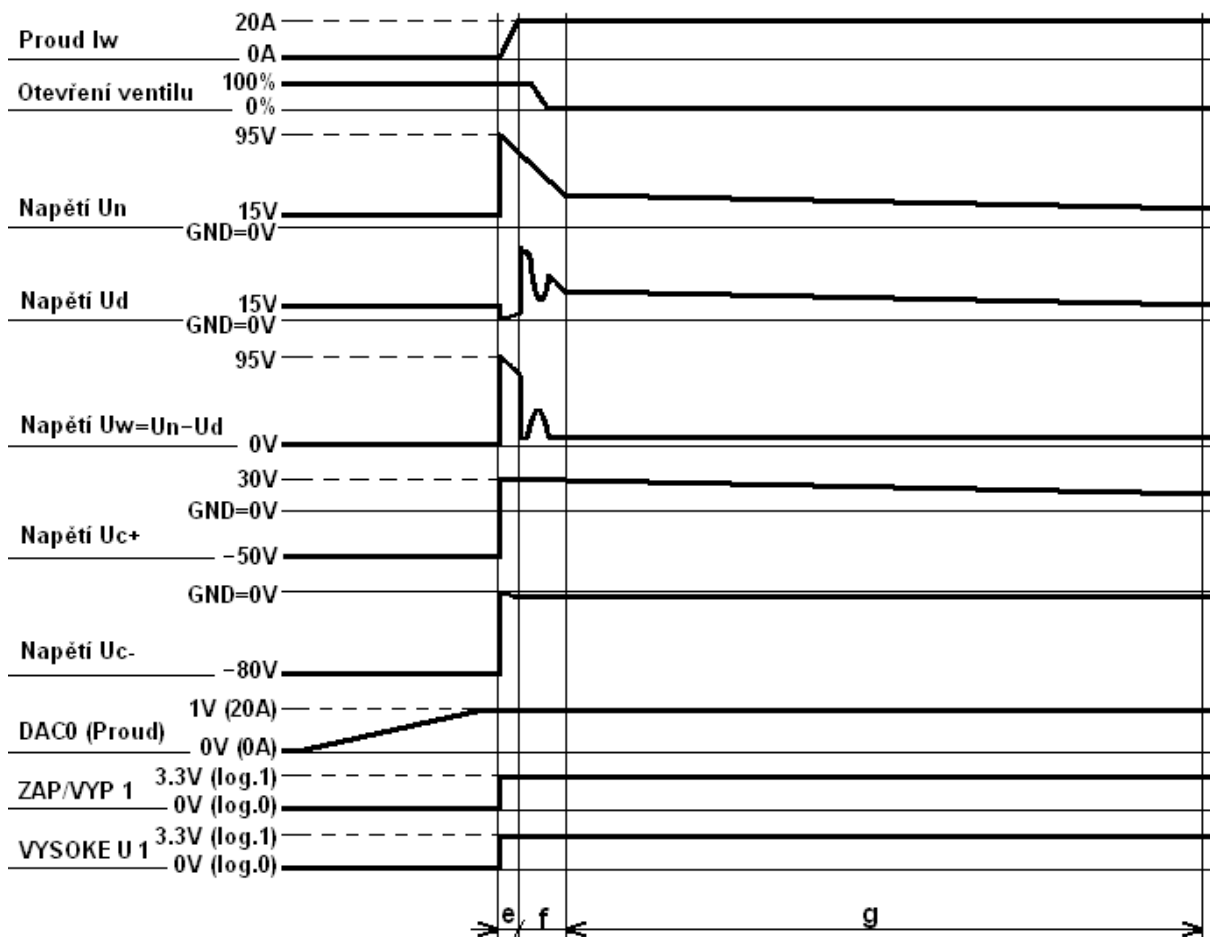


Obr. 3-4: Průběh napětí a proudu cívkou vysokotlakého ventilu W1 pro jeho otevření a zavření

Během doby „a“ dochází k nastavení žádané hodnoty proudu cívkou elektromagnetu, která je pro tento příklad 12 A, změnou napětí na D/A převodníku mikrokontroléru. Signál ZAP/VYP 1 je v log. 0. Po uvedení signálu ZAP/VYP 1 do log. 1, část „b“, se na cívce objeví napětí  $U_w$  a začne jí narůstat proud  $I_w$ . Když proud cívkou dosáhne žádané hodnoty 12 A, klesne napětí na cívce pouze na hodnotu danou ztrátami ve vinutí cívky a toto napětí na cívce je proudovou regulací udržováno nezávisle na napájecím napětí  $U_n$ , část „c“. Zbylé napětí se pak objeví na výkonovém tranzistoru T311. Sřední hodnota tohoto napětí je přibližně 6 V, takže při průchodu proudu 12 A vzniká na tranzistoru ztrátový výkon přibližně 72 W. Protože je nutné v určitých režimech udržet zavřený ventil přibližně 1 s, byl výkonový tranzistor společně s diodou D304 umístěn na chladič. V úseku „d“ je znázorněno pozvolné snižování žádané hodnoty proudu a tím i pokles proudu cívkou elektromagnetu.

### 3.3.2 Elektronický systém zvýšeného napětí pro rychlé zavření ventilu

Příklad časového sledu napětí a proudu pro rychlé zavření ventilu je znázorněn na obr. 3-5.



Obr. 3-5: Průběh napětí a proudu cívkou vysokotlakého ventilu při jeho rychlém zavírání

Rychlého zavření elektromagnetického ventilu, část „e“, dosáhneme tím, že přivedeme na cívku ventilu zvýšené napětí (95 V) z předem nabitých kondenzátorů C306 až C308. Pokud zvýšíme napětí na cívce elektromagnetu, rychleji vzrůstá proud cívkou, rychleji dosáhneme požadované hodnoty proudu cívkou a tak se ventil začne dříve zavírat. Zvýšené napětí přivedeme na cívku elektromagnetu přivedením log.1 na signál VYSOKE U 1, který je připojen k mikrokontroléru. Tím přes rezistor R91 otevřeme tranzistor T300, následně T301 i výkonový tranzistor T302. Proud kolektorem T301 je omezen na hodnotu přibližně 200 mA rezistorem R302. Maximální napětí  $U_{GS}$  tranzistoru T302 je omezeno Zenerovou diodou D300 na 10 V. Rezistor R304 zavírá T302 po vypnutí zvýšeného napětí přivedením log. 0 na signál VYSOKE U 1 mikrokontroléru. Otevřením výkonového tranzistoru T302

dosáhneme téměř nulového potenciálu záporných pólů kondenzátorů C304 až C308 (úplně nuly nedosáhneme z důvodu úbytku napětí na tranzistoru vlivem protékajícího proudu). Jestliže kondenzátory C306 až C308 byly předem nabity na 95 V, objeví se nyní toto napětí na cívce elektromagnetu. Napájecí větev HLAVNI 12V je oddělena diodou D304. Proud cívkou elektromagnetu rychle stoupá, 20 A dosáhneme přibližně za 40  $\mu$ s, naproti tomu se kondenzátory C306 až C308 vybíjejí. Po dosažení žádané hodnoty proudu je proud držen regulací na stejné hodnotě, část „f“. Napětí na cívce elektromagnetu se mění vlivem pohybu kotvy ventilu. Kdyby toto napětí nebylo dostatečné, došlo by při pohybu kotvy ventilu k poklesu proudu cívkou. Když je ventil úplně zavřen, napětí na cívce elektromagnetu se ustálí na hodnotě dané ztrátami ve vinutí. Po zavření ventilu je vhodné ještě chvíli udržet vyšší proud cívkou. Napětí z větve HLAVNI 12V by však nestačilo, vlivem většího protékajícího proudu cívkou, hradit ztráty ve vinutí cívky, na diodě D304 a na tranzistoru T311 (pro 20 A je potřeba minimálního napětí 13 V). Proto jsou do obvodu vyššího napětí přidány další kondenzátory C304 a C305, které však nejsou nabity na plné napětí 95 V, ale pouze na 30 V. Když během vybíjení kondenzátorů klesne napětí na C306 až C308 pod 30 V, připojí se k těmto kondenzátorům přes diodu v tranzistoru T303 ještě kondenzátory C304 a C305, část „g“. Kondenzátory C306 až C308 tedy slouží k rychlému otevření ventilu, kdežto kondenzátory C304 a C305 jsou nutné k udržení vyšších proudů cívkou elektromagnetu krátce po jeho zavření.

### 3.3.3 Spínaný zdroj pro zvýšené napětí

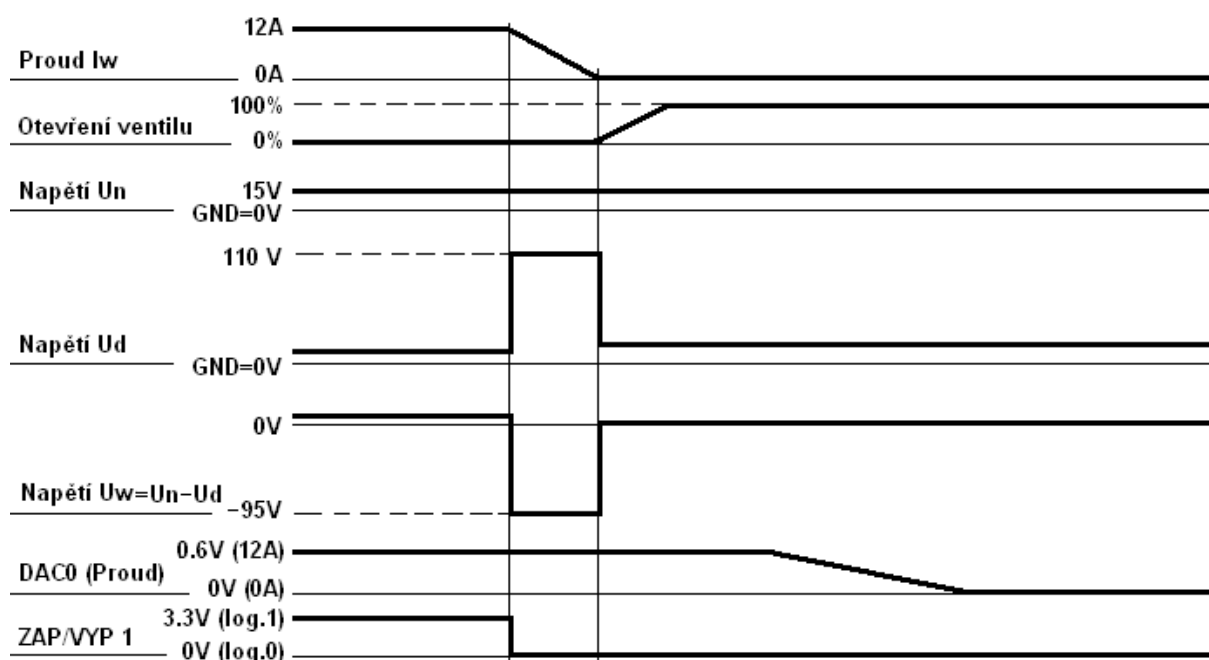
Potřebné zvýšené napětí 95 V se získá pomocí spínaného zdroje. Hlavní část spínaného zdroje tvoří tranzistor T307, tlumivky L300 a L301 a dioda D306. Spínaný zdroj pracuje cyklicky ve dvou fázích. V první fázi je tranzistor T307 otevřený, v tlumivkách vzrůstá proud a akumuluje se v nich energie. V druhé fázi, kdy je tranzistor T307 zavřený, předají tlumivky svoji energii přes diodu D306 kondenzátorům C304 až C308. Rezistor R312 omezuje maximální proud tlumivkami, pokud by tranzistor T307 zůstal delší dobu otevřen. Potřebný průběh napětí hradla tranzistoru T307 upravují tranzistory T304 až T306 a rezistory R89, R308 až R311. Na signál KMIT 40 kHz jsou přivedeny spínací impulzy, které jsou získány z mikrokontroléru jednotky. Jejich frekvence je 40 kHz a střída 1:1.

Nabití kondenzátorů C304 až C308 trvá přibližně 3 s od přivedení impulzů na signál KMIT 40 kHz. Pokud impulzy přestaneme dodávat, vybíjí se kondenzátory přes rezistory R306, R307 a svítivou diodu LED301, která indikuje nabití kondenzátorů. Na začátku

nabíjení se nabíjejí kondenzátory C304 až C308 současně. Nabíjení kondenzátorů C304 a C305 je třeba ukončit, dosáhne-li na nich napětí 30 V. Ukončení nabíjení těchto kondenzátorů obstarává obvod složený z tranzistoru T303, Zenerovy diody D301 a rezistoru R305. Pokud je při nabíjení kondenzátorů C304 a C305 jejich napětí nižší než 30 V, je tranzistor T303 otevřen přes rezistor R305. Dosáhne-li napětí na C304 a C305 30 V, tranzistor T303 se začne přes Zenerovu diodu D301 zavírat, takže napětí na těchto kondenzátorech už nadále nestoupá. Zenerova dioda D302 slouží pouze jako pojistka v případě že by obvod pro ukončení nabíjení selhal. Napětí potom roste pouze na kondenzátorech C306 až C308 až na konečné napětí 95 V dané Zenerovou diodou D303. Část energie ze spínaného zdroje potom slouží k udržení nabitých kondenzátorů (vybily by se přes R306, R307 a LED301) a zbylá energie je spotřebována Zenerovou diodou D303. Spínaný zdroj tak nepotřebuje vypínání spínacích impulzů při dosažení požadovaného napětí na kondenzátorech.

### 3.3.4 Princip rychlého otevření ventilu

Příklad časového sledu napětí a proudu pro rychlé otevření ventilu je znázorněn na obr. 3-6.



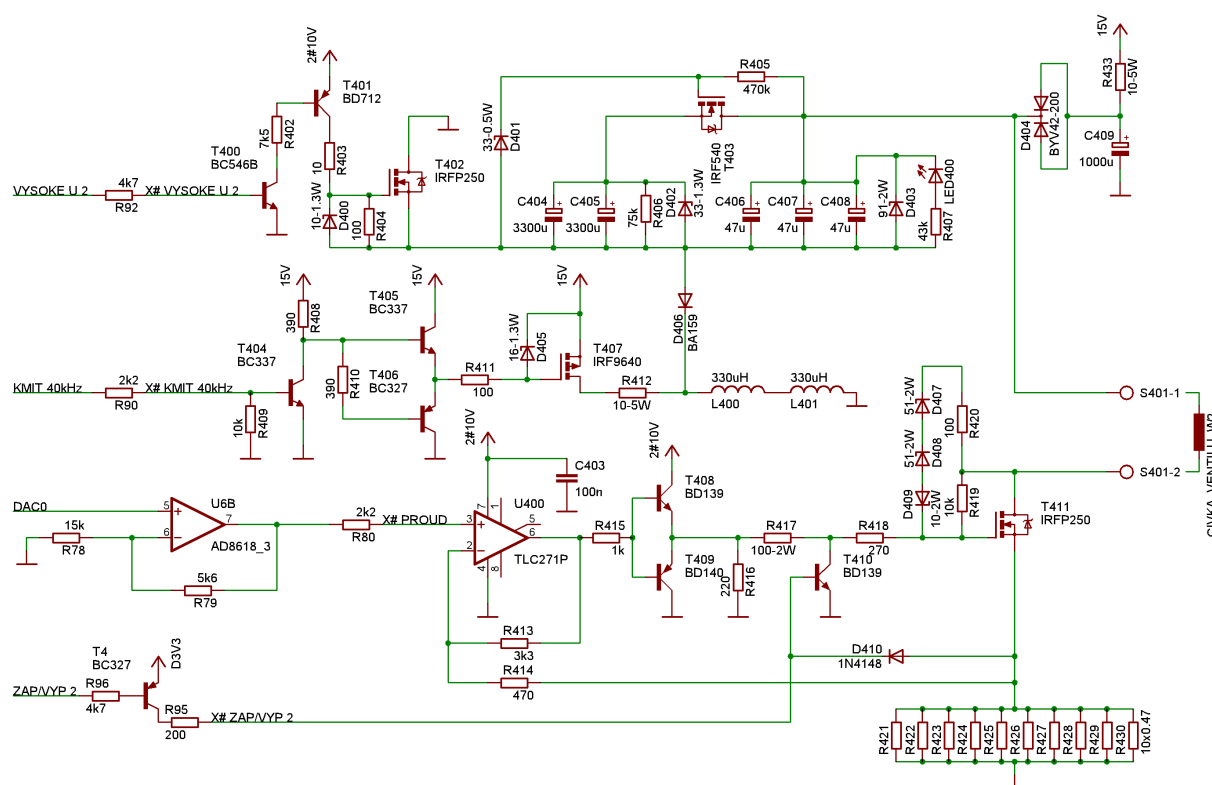
Obr. 3-6: Průběh napětí a proudu cívkou vysokotlakého ventilu při jeho rychlém otevírání

Pokud chceme elektromagnetický ventil rychle otevřít, musíme rychle zmařit energii nahromaděnou v cívce. Toho docílíme zvýšením napětí na cívce elektromagnetického ventilu na hodnotu přibližně 95 V (opačná polarita napětí oproti zavírání ventilu). Hodnota 95 V byla zvolena o málo nižší, než jaká se používá v řídicích jednotkách motorů [6]. Tato hodnota je



daná Zenerovými diodami D307 až D309 a rezistorem R320. Jestliže hodnota napětí  $U_d$  výkonového tranzistoru T311 dosáhne přibližně 110 V, zvýší se přes D307 až D309 a R320 napětí na hradle tohoto tranzistoru, ten se přiotevře a tím jím začne téci proud. Tento proud pak během několika  $\mu s$  klesá. Napětí 110 V se udržuje na drainu výkonového tranzistoru T311 až do té doby, kdy dojde k poklesu proudu elektromagnetem na nulovou hodnotu. Energie nahromaděná v elektromagnetu se tedy zmaří ve výkonovém tranzistoru T311. Okamžité ztrátové výkony na tomto výkonovém tranzistoru přesahují 1 kW, což převyšuje povolené trvalé hodnoty. Protože je však tento stav velice krátký, pouze několik  $\mu s$ , lze tranzistor několikanásobně výkonově přetížít (viz katalogový údaj tranzistoru IRFP250).

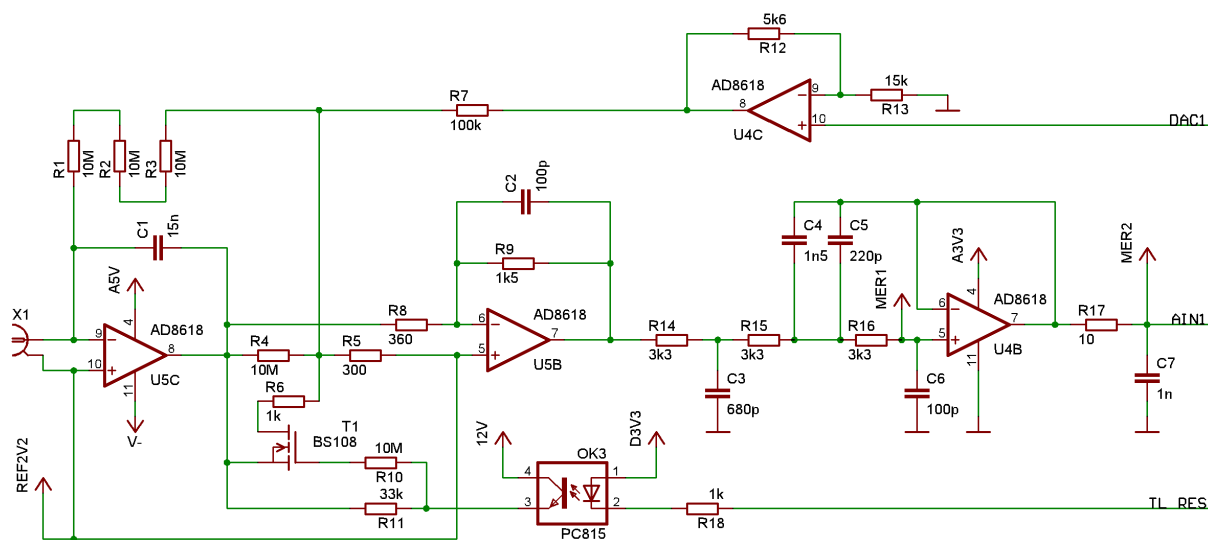
### 3.4 Řídicí elektronika pro vysokotlaký elektromagnetický ventil W2



## 4. ELEKTRONIKA PRO MĚŘENÍ

### 4.1 Měření průběhu tlaku

#### 4.1.1 Nábojově citlivý zesilovač



Obr. 4-1: Schéma nábojového zesilovače

Pro snímání rychlého průběhu tlaku ve spalovací komoře je použit piezoelektrický snímač tlaku. Jeho konstanta má podle [7] hodnotu  $k_{\text{piezo}} = 68 \text{ pC/bar}$ . Tento signál se zpracovává v citlivém nábojovém zesilovači, jehož schéma je znázorněno na obr. 4-1. Stěžejní část nábojového zesilovače tvoří operační zesilovač s nízkým svodovým proudem AD 8618 (obvod U5C). Ve zpětné vazbě je zapojen integrační kondenzátor C1. Napětí na tomto kondenzátoru je úměrné náboji přivedenému přes BNC konektor X1 na vstup operačního zesilovače U5C. Maximální napětí udává vztah (4.1).

$$U_{\text{max}} = \frac{Q}{C1} = \frac{k_{\text{piezo}} \cdot p_{\text{max}}}{C1} = \frac{68 \cdot 10^{-12} \cdot 100}{15 \cdot 10^{-9}} = 0,453 \text{ [V]} \quad (4.1)$$

kde:  $U_{\text{max}}$  – maximální napětí na kondenzátoru C1 [V]

$Q$  – náboj [C]

$C1$  – kapacita kondenzátoru [F]

$k_{\text{piezo}}$  – konstanta piezoelektrického snímače tlaku [pC/ bar]

$p_{\text{max}}$  – maximální měřený tlak piezoelektrickým snímačem tlaku [bar]

#### 4.1.2 Nastavení časové konstanty

Protože by se integrátor vlivem reálného operačního zesilovače s nenulovým vstupním ofsetem dostal po nějakém čase do saturace, jsou ve zpětné vazbě umístěny rezistory R1 až R6. Časová konstanta integrátoru je pak dána integračním kondenzátorem C1 a rezistory R1 až R6. Tuto časovou konstantu lze měnit otevřením nebo zavřením tranzistoru T1 signálem TL RES, který je připojen na výstupní port mikrokontroléru. Pokud signál TL RES uzemníme, začne diodou optronu procházet proud, který otevře tranzistor optronu a následně přes rezistor R10 i tranzistor T1. Jestliže přivedeme na signál TL RES logickou jedničku, napětí hradla tranzistoru T1 se vyrovná přes rezistor R11 s jeho sourcem, čímž se tranzistor T1 zavře. Delší časová konstanta je nastavena, pokud je tranzistor T1 zavřený a naopak, kratší časová konstanta se zapne otevřením tranzistoru T1.

Při nastavení kratší časové konstanty lze měřit jen krátké děje (řádově desítky ms). Pro měření delších dějů, např. při kalibraci tlakového čidla na závažové pumpě, musíme nastavit delší časovou konstantu.

#### 4.1.3 Kompenzace vstupní nesymetrie operačního zesilovače

Před měřením s nastavenou delší časovou konstantou je ovšem nutné vykompenzovat vstupní nesymetrii operačního zesilovače, což vyžaduje delší čas před měřením a speciální postup. Ke kompenzaci vstupní nesymetrie slouží rezistory R7, R12 a R13 a operační zesilovač U4C, jehož neinvertující vstup je připojen k D/A převodníku v mikrokontroléru. Obvod U4C je zapojený jako neinvertující zesilovač a zvětšuje rozsah napětí D/A převodníku na 0 až 3,3 V.

Funkce kompenzace je následující: Při zapnutí delší časové konstanty se napětí na výstupu OZ U5B začne měnit (pokud není vykompenzován). Program mikrokontroléru rozpozná tuto změnu a kompenzuje ji změnou napětí D/A převodníku v mikrokontroléru. Jestliže napětí na výstupu OZ U5B klesá, mikrokontrolér zvyšuje napětí na D/A převodníku a obráceně. Tato činnost probíhá až do doby, kdy se napětí na výstupu OZ U5B ustálí.

Podobný obvod k vykompenzování je použit i v komerčně dodávaných převodnicích náboje na napětí popsaných např. v [8].

Při měření rychlého průběhu tlaku se nastavuje kratší časová konstanta (přibližně 1 s). Při měření pomalých změn tlaku ve spalovací komoře, např. při kalibraci tlakového čidla, se nastavuje delší časová konstanta (řádově minuty).

#### 4.1.4 Zpracování signálu nábojového zesilovače pro mikrokontrolér

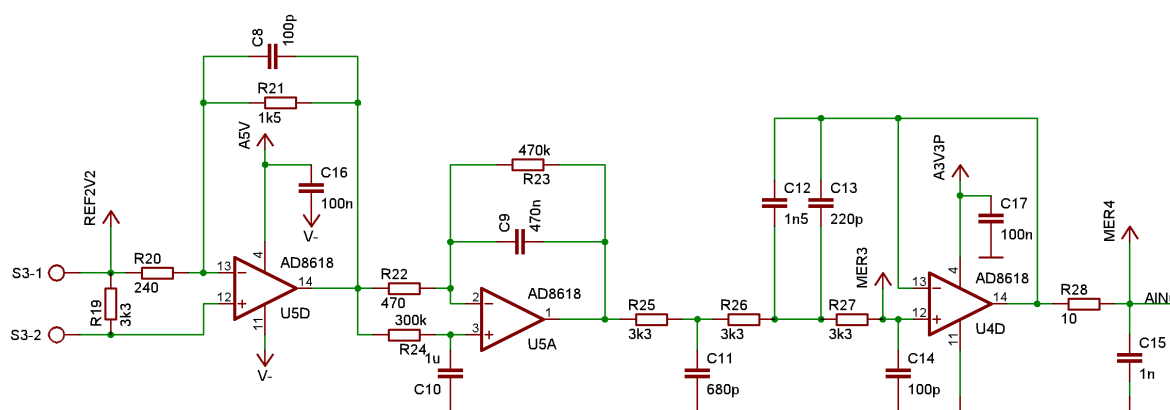
Signál z operačního zesilovače U5C je dále zesílen v dalším operačním zesilovači zapojeném jako invertující zesilovač. Jeho zesílení je dáno rezistory R8 a R9. Ke snížení šumu je do zpětné vazby přidán kondenzátor C2.

Při zpracování signálu v A/D převodníku musí být splněno Nyquistovo kritérium, tedy vzorkovací frekvence musí být rovna alespoň dvojnásobku frekvence vstupního signálu. Je tedy zapotřebí snížit amplitudu signálu při vyšších frekvencích. Proto je před A/D převodník pro snímání tlaku vřazen antialiasingový filtr tvořený operačním zesilovačem U4B, rezistory R14 až R16 a kondenzátory C3 až C6. Jedná se o dolní propust 3. řádu s mezní frekvencí 100 kHz při poklesu signálu o 3 dB a strmostí 60 dB na dekádu. Pro vyhlazení signálu je do obvodu ještě zařazen jednoduchý RC článek tvořený rezistorem R17 a kondenzátorem C7. Signál AIN1 je připojen na vstup A/D převodníku mikrokontroléru.

Na vstupu operačního zesilovače U4B a na vstupu A/D převodníku jsou umístěny měřicí hroty MER1 a MER2, na které lze připojit např. osciloskop.

#### 4.2 Měření zdvihu jehly

Pro zjištění velikosti cetanového čísla je potřeba znát počátek vstřiku paliva do spalovací komory. Ten se zjistí z čidla pohybu jehly vstřikovače (vstřikovač z automobilu Škoda Octavia 1.9/66 kW). Čidlo je indukční, dává napětí úměrné rychlosti pohybu jehly vstřikovače. Při volnoběžných otáčkách motoru je podle [9] hodnota tohoto napětí 250 mV.



Obr. 4-2: Schéma měřicí elektroniky zdvihu jehly vstřikovače

Schéma měřicí elektroniky zdvihu jehly vstřikovače je znázorněno na obr. 4-2. Čidlo pohybu jehly vstřikovače je připojeno na svorky S3-1 a S3-2. Signál z tohoto čidla je zesílen v neinvertujícím zesilovači U5D se zesílením daným rezistory R20 a R21. Pro snížení vstupní

impedance je do obvodu připojen rezistor R19. Dráha pohybu jehly, potřebná pro určení počátku vstřiku paliva, se získá integrací tohoto zesíleného signálu. Integrátor je tvořen operačním zesilovačem U5A rezistorem R22 a kondenzátorem C9. Rezistor R22 a kondenzátor C9 byly zvoleny tak, aby při typickém průběhu napětí na čidle byl využit rozsah napětí na výstupu OZ U5A. Aby se napětí na výstupu OZ U5A nedostalo vlivem jeho vstupní nesymetrie do saturace, je paralelně ke kondenzátoru C9 připojen rezistor R23. Časová konstanta, dána součinem odporu R23 a kapacity C9, je přibližně 0,22 s. Při měření zdvihu jehly vstřikovače, kde se časy pohybují v jednotkách ms, tak vzniká velmi malá chyba (kolem 1%).

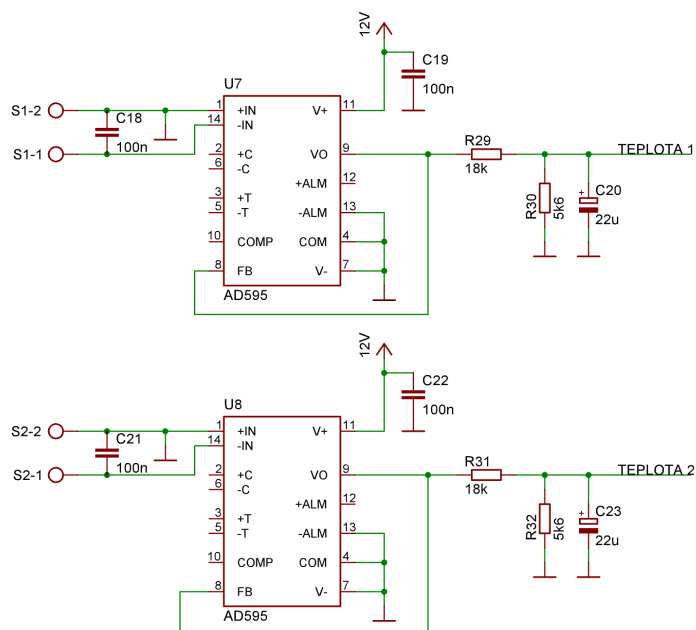
Neinvertující vstup OZ U5A nemůže být připojen přímo na referenční napětí 2,2 V, protože by vlivem velkých rozdílů napětí na vstupech tohoto operačního zesilovače musel být odpor R23 příliš nízký. Časová konstanta by rovněž byla nízká, což by zhoršilo přesnost měření. Proto je do obvodu zařazen RC člen tvořený rezistorem R24 a kondenzátorem C10. Referenční napětí je plovoucí a mění se pomaleji, než měření zdvihu jehly vstřikovače.

Filtrační obvod, který je tvořen operačním zesilovačem U4D, rezistory R25 až R28 a kondenzátory C11 až C15, je stejný jako v obvodu nábojově citlivého zesilovače (popsán v kapitole 4.1.4). Rovněž jsou zde umístěny měřicí hroty MER3 a MER4. Signál AIN0 je připojen na vstup A/D převodníku mikrokontroléru.

## **4.3 Měření dalších fyzikálních veličin**

### **4.3.1 Vstupní obvody pro měření teplot z termočlánků**

Řídicí jednotka umožňuje měření teploty vzduchu ve spalovací komoře a měření teploty stěny válce spalovací komory. K měření těchto teplot byly použity termočlánky typu K, NiCr-NiAl. Průměr termočlánků je 1,5 mm, délka 100 mm a jsou dodány s kompenzačním vedením o délce 1m. Konstanta termočlánků je  $40.44 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  a maximální měřitelná teplota je  $1150^\circ\text{C}$ .



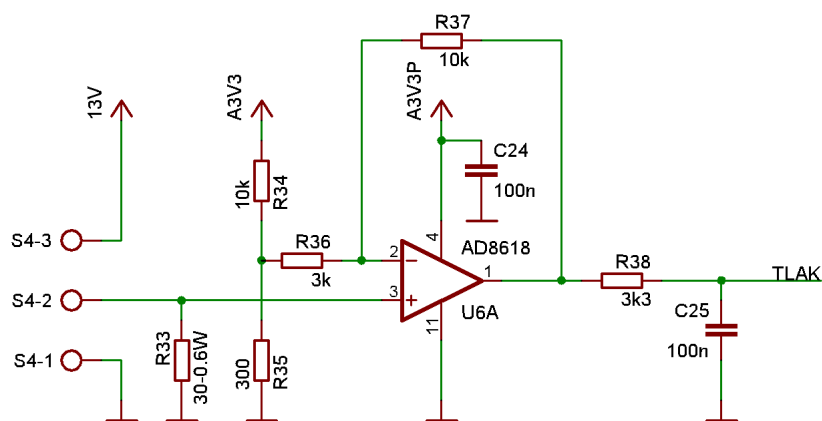
Obr. 4-3: Schéma vstupních obvodů pro měření teplot z termočlánků

Schéma vstupních obvodů pro měření teplot z termočlánků je znázorněno na obr. 4-3. Termočlánky se připojují na svorkovnice S1 a S2. Pro zpracování signálu byl použit obvod AD 595, který byl zapojen podle doporučení výrobce. Pro měření teploty je potřeba také znát teplotu srovnávacího konce termočlánku. Ta je měřena přímo tímto obvodem. Obvod však musí být umístěn blízko svorkovnice pro připojení termočlánku, aby se teplota pouzdra obvodu co nejvíce blížila teplotě svorkovnice.

Výstupní signál je  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , což při teplotě  $1000^{\circ}\text{C}$  odpovídá  $10\text{ V}$  na výstupu obvodu (pin 9). Tento výstup je připojen přes odporový dělič a jednoduchý filtr na vstup 10-ti bitového A/D převodníku mikrokontroléru. Odporový dělič tvořený rezistory R29 a R30 (popř. R31 a R32) je navržen tak, aby digitální hodnota A/D převodníku odpovídala naměřené teplotě ve  $^{\circ}\text{C}$ . Rozsah měření teploty je  $0$  až  $1023^{\circ}\text{C}$ . Časová konstanta daná rezistory R29, R30 a kondenzátorem C20 (popř. R31, R32 a C23) je přibližně  $0,1\text{ s}$ .

#### 4.3.2 Vstupní obvod snímače tlaku P1

K měření tlaku ve spalovací komoře slouží piezoelektrický snímač tlaku P2, který byl již popsán v kapitole 4.1. Pomocí tohoto snímače lze změřit rychlý průběh tlaku, avšak pomalé změny tlaku pomocí něj měřit nelze (ztráta hodnoty tlaku vlivem nízké časové konstanty měřících obvodů). Snímač tlaku P1 slouží zejména pro zjištění počátečního tlaku ve spalovací komoře před měřením cetanového čísla.



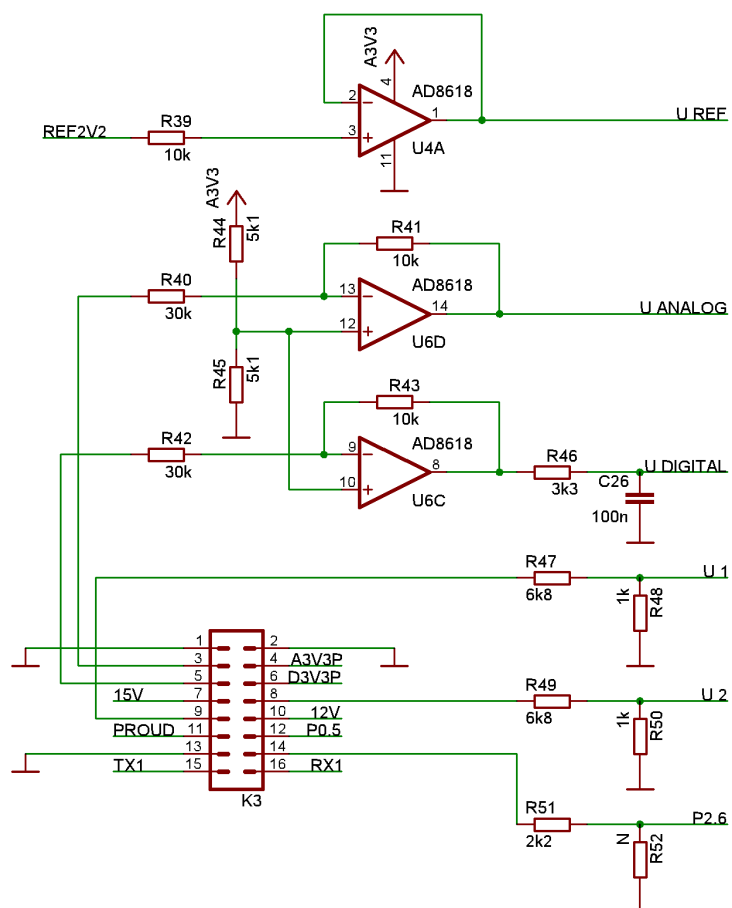
Obr. 4-4: Schéma vstupního obvodu snímače tlaku P1

Schéma vstupního obvodu snímače tlaku P1 je znázorněno na obr. 4-4. Snímač tlaku je připojen pouze na svorky S4-2 a S4-3, protože je zapojen ve dvou vodičovém zapojení 4 – 20 mA. Na zemní svorku S4-1 je zapojen stínící vodič.

Snímač je napájen stabilizovaným napětím 13 V. Proudový signál je přiveden na rezistor R33. Proud 4 – 20 mA odpovídá napětí na tomto rezistoru 0,12 – 0,6 V. Signál je dále přiveden do operačního zesilovače U6A. Pomocí rezistorů R34 až R37 je upraveno výstupní napětí OZ tak, aby se signál dal dále zpracovat v A/D převodníku mikrokontroléru. Ještě před A/D převodník je umístěn jednoduchý antialiasingový filtr tvořený rezistorem R38 a kondenzátorem C25.

#### 4.3.3 Měření dalších analogových signálů

Řídicí jednotka umožňuje měření dalších analogových signálů. Pevně je na vstup A/D převodníku připojeno, přes OZ U4A, měření referenčního napětí 2,2 V. Další 4 analogové vstupy jsou společně s napájením vyvedeny na konektor K3. Řídicí jednotka tedy umožňuje měření dalších čtyř analogových signálů. Schéma měřících obvodů dalších analogových signálů je znázorněno na obr. 4-5. Aby tyto signály byly využity, jsou zatím zkratovacími propojkami (jumpery) spojeny s napájením, takže řídicí jednotka monitoruje některé napájecí napětí. Zapojení konektoru K3 a možnosti propojení zkratovacími propojkami znázorňuje obr. 4-6. Signály U REF, U ANALOG, U DIGITAL, U 1, U 2 jsou připojeny k A/D převodníkům mikrokontroléru. Signály Tx1 a Rx1 jsou spojeny s porty P0.2 a P0.3 mikrokontroléru a je možné je použít pro sériovou komunikaci.



Obr. 4-5: Schéma měřících obvodů dalších analogových signálů

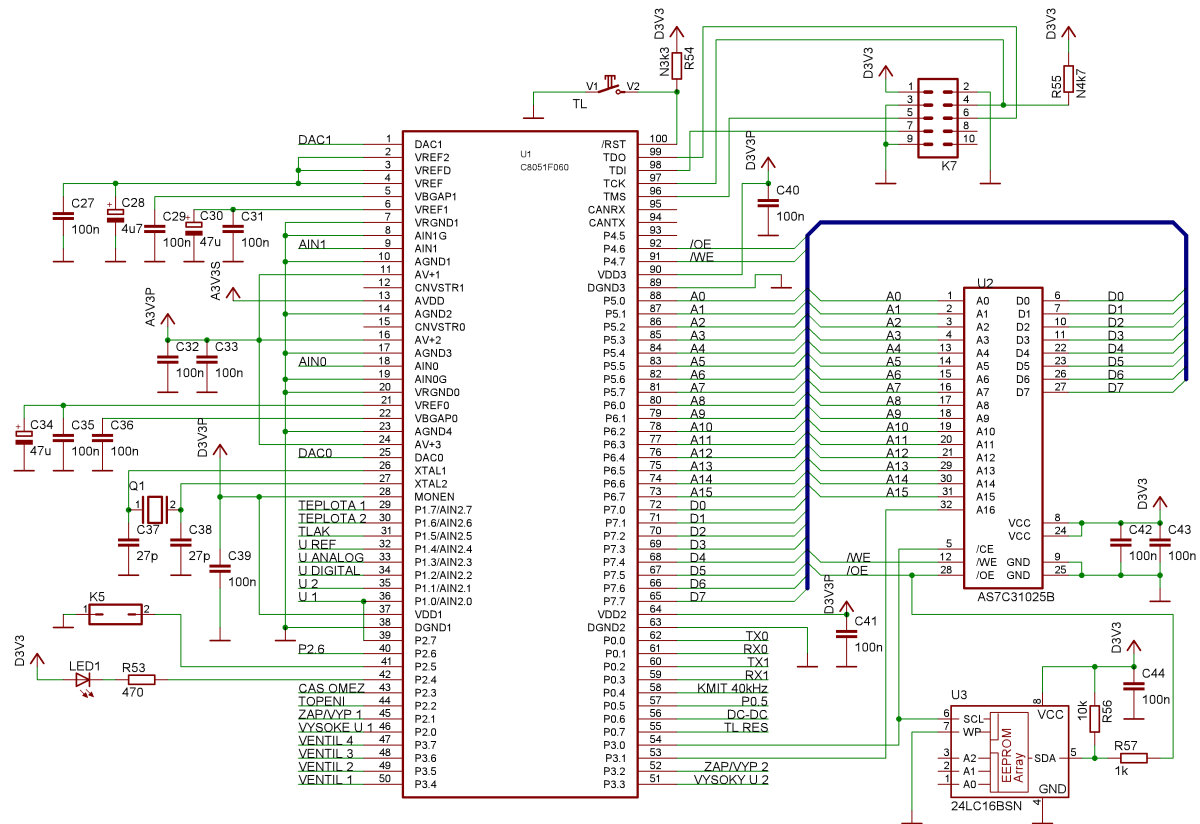
ZAPOJENÍ KONEKTORU	a)	b)	c)
1 ● ● 2	1 ● ● 2	1 ● ● 2	1 ● ● 2
GND ● ● GND	3 ● ● 4	3 ● ● 4	3 ● ● 4
P1.3 ● ● ANALOG 3.3V	5 ● ● 6	5 ● ● 6	5 ● ● 6
P1.2 ● ● DIGITAL 3.3V	7 ● ● 8	7 ● ● 8	7 ● ● 8
U SINUS ● ● P1.1	9 ● ● 10	9 ● ● 10	9 ● ● 10
P1.0, P2.7 ● ● 12V	11 ● ● 12	11 ● ● 12	11 ● ● 12
PROUD ● ● P0.5	13 ● ● 14	13 ● ● 14	13 ● ● 14
GND ● ● P2.6	15 ● ● 16	15 ● ● 16	15 ● ● 16
TX1 ● ● RX1			
15 16			

Obr. 4-6: Zapojení konektoru K3 a možnosti propojení zkratovacími propojkami



## 5. ŘÍDICÍ A POMOCNÉ SYSTÉMY JEDNOTKY

### 5.1 Mikrokontrolér a paměti



Obr. 5-1: Schéma propojení mikrokontroléru s paměťmi

Schéma propojení mikrokontroléru s paměťmi je znázorněno na obr. 5-1. Mikrokontrolér C8051F060 byl vybrán, protože obsahuje dva rychlé A/D převodníky, pomocí nichž se měří průběh tlaku ve spalovací komoře a zdvih jehly vstřikovače. Na základě těchto dvou veličin se počítá hodnota cetanového čísla, proto je důležité je změřit s velkou přesností. Každý z těchto převodníků dokáže vzorkovat signál rychlostí až 1 Ms/s s maximálním rozlišením 16-ti bitů. Kromě těchto dvou A/D převodníků obsahuje mikrokontrolér ještě další osmikanálový multiplexovaný 10-ti bitový A/D převodník a dva 12-ti bitové D/A převodníky. Dále má mikrokontrolér implementovány dva kanály UART pro sériovou komunikaci a lze k němu připojit vnější paměť. Mikrokontrolér umožňuje zvláštní napájení analogové a digitální části, které se pohybuje v rozsahu 2,7 až 3,6 V. Pro přesné měření časových operací je taktovací frekvence odvozena z vnějšího krystalu s frekvencí 24 MHz. Mikrokontrolér se programuje přes rozhraní JTAG, které se připojuje přes konektor K7. Tlačítko TL slouží k hardwarovému resetu.

Jedním z významných úkolů řídicí jednotky je současné navzorkování průběhu tlaku ve spalovací komoře a zdvihu jehly vstřikovače. Pokud využijeme maximální rychlosti převodu A/D převodníků mikrokontroléru 1 Ms/s v 16-ti bitovém rozlišení, zaplníme 4000 Bytů paměti za 1 ms. Typická doba průtahu vznícení paliva, ze které se počítá hodnota cetanového čísla, se pohybuje v řádu jednotek ms a této době odpovídá velikost paměti v řádu desítek kB. Z tohoto důvodu je zapotřebí připojit k mikrokontroléru vnější paměť, protože vnitřní paměť mikrokontroléru má velikost pouze 4352 Bytů. Jako vnější paměť byl zvolen obvod SRAM AS7C31025B. Jedná se o osmi bitovou 128 kB statickou paměť se zpožděním 15 ns. Napájení se pohybuje v rozsahu 3 až 3,6 V, takže ji lze připojit na společnou větev digitální části mikrokontroléru. Při maximální rychlosti zápisu lze do ní zachytit průběh dlouhý 32 ms.

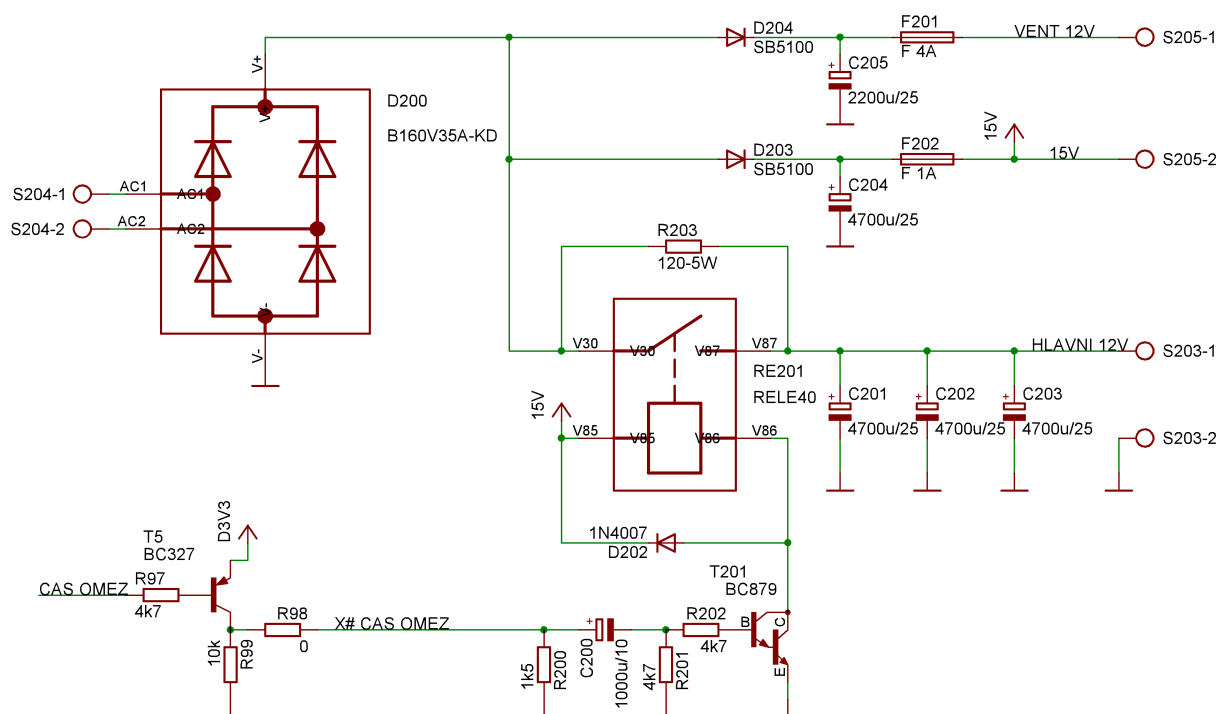
Protože mikrokontrolér neobsahuje vnitřní paměť EEPROM, která zachovává data i po odpojení napájení, byla k němu připojena vnější paměť EEPROM 24LC16BSN. Jde o 16 kb sériovou paměť s rozhraním I<sup>2</sup>C s možností zápisu 10 miliónů cyklů. Paměť podporuje 3-voltové napájení, takže je rovněž připojena na společnou větev digitální části mikrokontroléru.

## 5.2 Sériová komunikace

Piezoelektrický snímač tlaku má jeden vývod spojený s kostrou zařízení. Celá elektronika v řídicí jednotce je tedy ukostřena přes tento snímač a pro ochranu je kostra zařízení spojena s ochranným vodičem v rozvodné síti 230 V. Aby nedocházelo k uzavírání proudu přes sériovou komunikaci jednotky s počítačem, je galvanicky oddělená pomocí DC-DC měniče a optronů. (Nulový potenciál sériové komunikace počítače je spojen s ochranným vodičem v rozvodné síti 230 V.)



### 5.3 Napájení řídicí jednotky a časové omezení



Obr. 5-3: Schéma napájení řídicí jednotky a časové omezení

Celá řídicí jednotka je napájena z transformátoru, který mění napětí v rozvodné síti 230 V na 11,5 V. Transformátor je bezpečnostní, má integrovanou tepelnou pojistku a jeho výkon je 160 VA. Schéma napájení řídicí jednotky je znázorněno na obr. 5-3. Sekundární vinutí transformátoru je připojeno na usměrňovací můstek D200 přes svorkovnici S204. Záporný pól můstku je spojen s nulovým napěťovým potenciálem jednotky. Kladný pól můstku se pak dělí do tří větví. První větev VENT 12 V slouží k napájení ventilů V1 až V4 a je jištěná tavnou pojistkou 4 A. Od kladného pólu usměrňovacího můstku je tato větev oddělena Šotkyho diodou D204. Další větev napájí řídicí obvody jednotky. Od kladného pólu usměrňovacího můstku je tato větev rovněž oddělena Šotkyho diodou D203. Kondenzátorem C204 se na ní dosáhne vyššího napětí 15 V. Je opět jištěná tavnou pojistkou 1 A. Tyto dvě větve jsou vyvedeny na svorkovnici S205. Poslední větev slouží k napájení vysokotlakého elektromagnetického ventilu W1. Energii z této hlavní větve lze odebírat pouze omezenou dobu. Tím jsou ochráněny výkonové obvody i samotné ventily proti poškození při případné poruše.

K přerušení proudu do hlavní větve je použito relé se jmenovitým spínaným proudem 40 A. Cívka relé je ovládána obvodem, který 2,5 s po sepnutí relé přeruší dodávku napětí

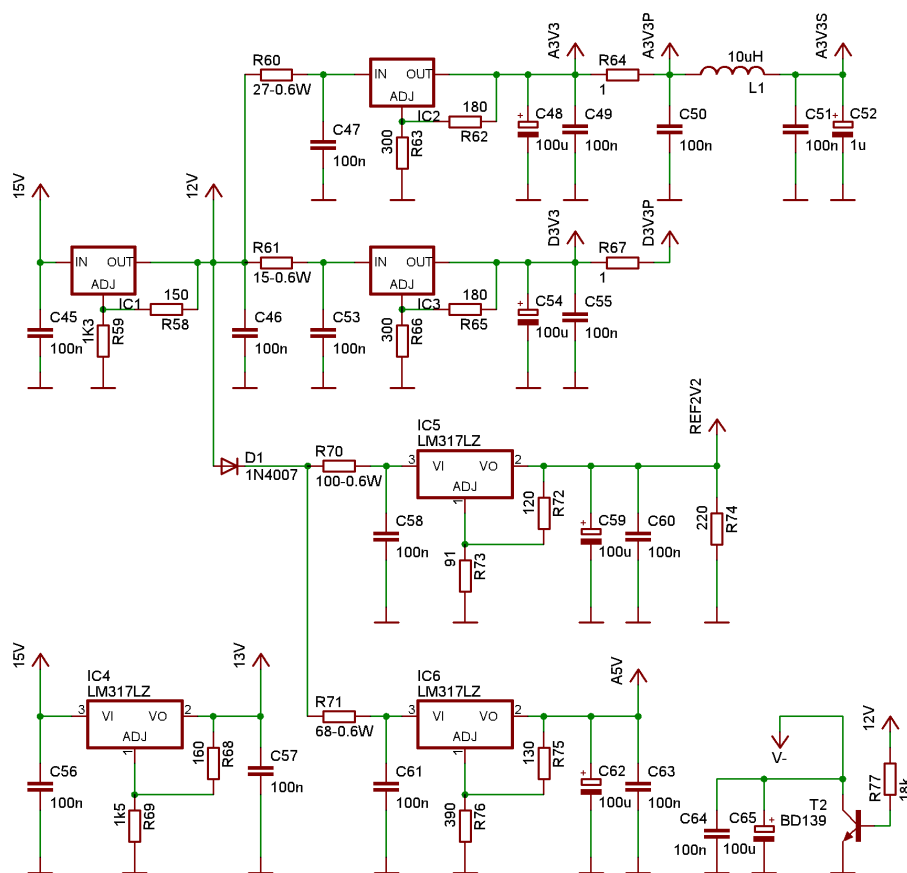
do cívky relé a tak dojde k jeho rozepnutí. Jako spínací prvek cívky relé byl použit tranzistor T201 v Darlingtonově zapojení. Báze tranzistoru je připojena k tranzistoru T5 přes derivační RC člen tvořený z kondenzátoru C200 a rezistorů R201 a R202. Jestliže se přivede na linku CAS OMEZ log. 0, otevře se tranzistor T5 a na jeho kolektoru bude napětí 3,3 V. Protože napětí na kondenzátoru C200 je nulové, obdržíme napětí 3,3 V i na záporném pólu tohoto kondenzátoru a přes rezistor R202 se otevře tranzistor T201, který sepne relé. Kondenzátor C200 se pak začne vybíjet jednak přes rezistor R201 a jednak přes rezistor R202. Když napětí záporného pólu kondenzátoru C200 klesne pod 1,3 V, nestačí již proud protékající bází T201 udržet tranzistor zavřený, ten se otevře a dojde k rozepnutí relé. Po přivedení log. 1 na linku CAS OMEZ dojde k vynulování napětí na kondenzátoru C200 přes rezistor R200. Relé se může rozpojit dříve než za 2,5 s přivedením log. 1 na linku CAS OMEZ.

Pokud nedojde k poruše, relé nerozpíná vysoké proudy, protože odběr proudu je přerušen dříve jinými prvky. Relé za normálního provozu vysoké proudy ani nespíná. Proud je vždy odebírán až po sepnutí relé. Při zapnutí řídicí jednotky je potenciál kontaktů relé vyrovnán rezistorem R203.

Kapacita kondenzátorů C201 až C203 zaručí minimální napětí hlavní větve 9 V při odběru proudu 13 A. Tím je zaručeno trvalé zavření vysokotlakého elektromagnetického ventilu W1.

Místo transformátoru, usměrňovacího můstku a kondenzátorů by bylo možné použít spínaný zdroj. Jeho předností je stabilizované výstupní napětí a malé rozměry. Řídicí jednotka však obsahuje měřicí obvody citlivé na rušení a spínaný zdroj by mohl tyto měřicí obvody rušit.

## 5.4 Stabilizované napájení řídicí desky jednotky



**Obr. 5-4: Schéma stabilizovaného napájení řídicí desky jednotky**

Řídicí deska jednotky potřebuje pro svou obsáhlou škálu obvodů více úrovní napájení. Schéma napájení této řídicí desky je znázorněno na obr. 5-4. Hlavní přívod od pojistky, který má napětí 15 V, je připojen na stabilizátor IC1, jehož výstupní napětí je nastaveno rezistory R58 a R59 na 12 V. Toto napětí se používá pro obvody termočlánků a jako vstupní napětí pro další stabilizátory. Obvody IC2 a IC3 napájejí analogovou a digitální část mikrokontroléru, dále některé operační zesilovače, paměti a optrony pro sériovou komunikaci. Jejich výstupní napětí je nastaveno na 3,3 V. Rezistory R60 a R61 omezují maximální odebíraný proud. Rezistory R64, R67 a tlumivka L1 jsou doporučené výrobcem mikrokontroléru. Stabilizátorem IC5 je nastaveno referenční napětí 2,2 V pro vstupní obvody měření průběhu tlaku ve spalovací komoře a měření průběhu zdvihu jehly vstřikovače. Protože se z této větve proud nejen odebírá, ale někdy se i dodává (z piezoelektrického čidla tlaku), je do obvodu zařazen rezistor R74, který v případě potřeby maří přebytečnou energii. Stabilizovaným napětím 5 V ze stabilizátoru IC6 je napájen operační zesilovač pro měření tlaku a zdvihu jehly vstřikovače. Rezistory R70 a R71 opět omezují maximální proudy.

Ochrannou funkci má obvod tvořený tranzistorem T2, rezistorem R77 a kondenzátory C64 a C65. Proud bází tranzistoru je dán rezistorem R77 a tím je ze známého zesílení tranzistoru určen i maximální proud kolektorem tohoto tranzistoru, který byl zvolen 100 mA. Na kolektor tranzistoru T2 je připojeno záporné napájení operačního zesilovače pro měření tlaku a zdvihu jehly vstřikovače. Jestliže se omylem na svorky pro připojení snímače tlaku, nebo snímače zdvihu jehly přivede vyšší napětí než zhruba 6 V, omezí se proud, který teče tímto přívodním vedením právě na hodnotu 100 mA. Tímto jsou chráněny snímače tlaku a zdvihu jehly, některé vstupní obvody řídicí desky mikrokontroléru, ale zejména samotný mikrokontrolér. K ochraně obvodů před vyšším napětím slouží i dioda D1.

Stabilizované napětí 13 V z obvodu IC4 slouží k napájení tlakového čidla P1.

## **6. NÁVRH FUNKČNÍHO VZORKU ELEKTRONICKÉ JEDNOTKY**

### **6.1 Desky tištěných spojů**

Celkem byly vyrobeny 4 desky tištěných spojů:

- Řídicí deska
- Deska napájení
- Deska řídicí elektroniky ventilu W1
- Deska řídicí elektroniky ventilu W2

Kromě řídicí desky jsou všechny desky jednostranné a osazeny běžnými typy součástek s drátovými vývody. Řídicí deska byla navíc osazena rezistory a kondenzátory v SMD provedení a je oboustranná. Návrh desek byl společně se schématy proveden v programu Eagle verze 4.11. Desky byly vyrobeny ve zdejší laboratoři PCB. Veškerá schémata jsou společně s vyobrazením desek tištěných spojů a rozmístěním součástek k nahlédnutí v přílohách.

### **6.2 Umístění součástek v rozvaděči**

Rozvaděč se skládá ze dvou plastových dílů. Ve spodním dílu rozvaděče jsou čtyři otvory pro jeho přichycení. Dno spodního dílu je opatřeno výstupky s otvory pro samořezné šrouby, na které je přišroubována plastová deska. Na této desce jsou potom umístěny tři desky tištěných spojů a transformátor. Deska řídicí elektroniky ventilu W1 je umístěna nad desku řídicí elektroniky ventilu W2 pomocí distančních sloupků. Na jedné z bočních stěn rozvaděče je umístěn hlavní vypínač jednotky a konektor pro připojení sériové komunikace. Veškeré vodiče vedoucí z jednotky jsou protaženy vývodkami.

### **6.3 Panel ručního ovládání ventilů**

Aby bylo možné manuálně ovládat ventily V1 až V3 pro vpouštění a vypouštění obsahu spalovací komory, byl k jednotce přidán panel s přepínači. Pro indikaci otevření jednotlivých ventilů je navíc panel opatřen svítivými diodami.



Přepínačem Pr1 lze ventily vypouštění vzduchu V1 a V2 manuálně otevřít, zavřít, nebo přepnout na automatický režim ovládaný jednotkou. Přepínač Pr2 slouží k manuálnímu otevření ventilu vypouštění spalin z komory V3. Pokud je spuštěn systém měření cetanového čísla, nelze manuálně otevřít ventily V1 a V2. Ventil V3 zase nelze natrvalo manuálně zavřít, aby mohl být v případě potřeby otevřen jednotkou. Tím je zaručeno vypuštění spálené směsi.

## 7. SOFTWARE PRO STANOVENÍ CETANOVÉHO ČÍSLA

### 7.1 Program mikrokontroléru

Pro funkci mikrokontroléru je nutné vytvořit program. Program byl napsán v jazyce assembler a velikostně má něco přes 6 kB.

Po zapnutí řídicí jednotky, nebo po resetu mikrokontroléru, se nastaví výchozí stavy mikrokontroléru, vynuluje se obsah paměti a načte se do ní obsah EEPROM. Jestliže je řídicí jednotka propojena s počítačem, měří veškeré analogové signály (teploty, tlaky, napětí) a ty společně s některými stavovými signály posílá po sériové lince do počítače. Pro zvýšení přesnosti je každá analogová veličina změřena vícekrát a následně zprůměrována.

Při zapnutí měření cetanového čísla program mikrokontroléru řídí průběh otevírání a zavírání ventilů a zapíná nebo vypíná topení spalovací komory v přesném časovém sledu. Nejprve se spalovací komora pročistí stlačeným vzduchem, poté se naplní a zapne se topení spalovací komory. Když teplota vzduchu ve spalovací komoře dosáhne potřebné teploty pro měření, zavřou se ventily pro vpouštění vzduchu do spalovací komory a pomocí vstřikovacího zařízení se do této komory vstříkne potřebná dávka měřeného paliva. Po vstříknutí paliva dojde ke vznícení směsi a změří se průběh tlaku a zdvihu jehly vstřikovače. Po změření průběhu těchto dvou veličin dojde k vypuštění spálené směsi ze spalovací komory. Následně se změřená data pošlou do počítače, kde se změří doba průtahu a následně spočítá velikost cetanového čísla. Od tohoto okamžiku je řídicí jednotka připravena pro další měření cetanového čísla.

Pokud dojde kdykoliv během programu k přerušení komunikace řídicí jednotky s počítačem, ukončí program automaticky veškerá měření a uvede celé zařízení do výchozího stavu. Tím se zamezí nekontrolovanému chodu při měření.

Případnou změnu programu mikrokontroléru lze provést přes rozhraní JTAG.

## 7.2 Program pro počítač

Pro komunikaci řídicí jednotky s počítačem byl vytvořen program. Hlavní účel programu je zobrazit změřený průběh zdvihu jehly vstřikovače a tlaku ve spalovací komoře, stanovit dobu průtahu vznícení a vypočítat hodnotu cetanového čísla. Program umožňuje zobrazit další měřené veličiny a pomocí něj se také zadávají některé údaje potřebné pro změření cetanového čísla. Komunikace počítače s řídicí jednotkou probíhá přes sériové rozhraní RS232.

Pro přehledné zobrazení jednotlivých údajů je program rozdělen do čtyř panelů. Z hlediska použití jednotky (měření cetanového čísla) je nejdůležitější panel „Hlavní“. Po připojení řídicí jednotky k počítači a její zapnutí se zobrazí v horní části tohoto panelu nápis „Jednotka připojena“. Nezáleží na pořadí spuštění řídicí jednotky a programu. Dále se čtyřikrát za sekundu periodicky zobrazují aktuální změřené údaje teploty vzduchu ve spalovací komoře, teploty stěny válce spalovací komory a tlaku vzduchu v přívodním potrubí spalovací komory. Před měřením cetanového čísla musejí být nastaveny údaje pro vstřik paliva umístěné na panelu „Nastavení a data“ (popsáno níže). Dále se musí nastavit konečná teplota vzduchu pro měření, požadovaná teplota stěny komory a délka měření průběhu tlaku a zdvihu jehly. Po nastavení těchto údajů se spustí měření cetanového čísla stisknutím tlačítka START. Řídicí jednotka pročistí spalovací komoru vzduchem, poté se komora stlačeným vzduchem naplní a zapne se topné těleso pro ohřev vzduchu. Tím začne teplota vzduchu ve spalovací komoře stoupat a když dosáhne předem nastavené teploty pro měření, dojde k uzavření komory, ke vstříknutí paliva a změření průběhu zdvihu jehly vstřikovače a tlaku ve spalovací komoře. Naměřené údaje se krátce poté zobrazí v grafu (rovněž umístěn na panelu „Hlavní“) a stanoví se z nich doba průtahu vznícení paliva. Z této doby průtahu se určí výsledná hodnota cetanového čísla, která se zobrazí v dolní části panelu „Hlavní“. Měření další hodnoty cetanového čísla se spustí opět stisknutím tlačítka START. Po stisknutí tohoto tlačítka se změní v tlačítko STOP a lze jím kdykoliv měření ukončit. Měření se rovněž ukončí, dojde-li k přerušení komunikace mezi řídicí jednotkou a počítačem.

V panelu „Nastavení a data“ se nastavují především časové údaje pro vstřikování, konstanty čidla tlaku a čidla zdvihu jehly. Lze tam také měnit časovou konstantu obvodů pro měření piezoelektrickým čidlem a zapínat automatickou kompenzaci těchto obvodů. Na tomto panelu se vybírá komunikační port a zobrazují se údaje o délce provozu jednotky.

V panelech „Grafy1“ a „Grafy2“ jsou zobrazeny časové průběhy veličin změřených řídicí jednotkou. Perioda měření je 0,25 s.

V panelu „Grafy1“ jde o veličiny:

- hodnota převodníku zdvihu jehly vstřikovače
- hodnota převodníku piezoelektrického snímače tlaku
- tlak v přívodním potrubí spalovací komory
- teplota vzduchu ve spalovací komoře
- teplota stěny spalovací komory

V panelu „Grafy2“ jde o veličiny:

- napájecí napětí digitální části jednotky 3,3 V
- napájecí napětí analogové části jednotky 3,3 V
- referenční napětí jednotky 2,2 V
- napětí stabilizované sítě 12 V
- napětí nestabilizované sítě 15 V
- teplota mikrokontroléru

### **7.2.1 Stanovení doby průtahu vznícení paliva**

Doba průtahu vznícení paliva je čas, který uplyne od počátku vstřiku paliva do počátku růstu tlaku vznícené směsi. Pro správné měření je potřeba, aby okamžik odečítání nastal co nejdříve po vzniku vzrůstající tendence jak u průběhu zdvihu jehly, tak u průběhu tlaku. Pokud bude ale tento okamžik zvolen příliš nízký, může dojít k chybnému odečtení vlivem šumu v signálu. Je proto nutné zvolit kompromis. Úroveň signálu pro zjištění počátku zdvihu jehly a počátku růstu tlaku se dají nastavovat v programu - panel „Nastavení a data“.

### **7.2.2 Stanovení výsledné hodnoty cetanového čísla**

Výsledná hodnota cetanového čísla se určí z doby průtahu vznícení paliva pomocí předem zhotovené tabulky. Tabulka byla sestavena podle vztahu (1.2). V této tabulce jsou zaznamenány hodnoty dob průtahu vznícení paliva a k nim odpovídající hodnoty cetanového čísla. Než-li se ale začnou s přístrojem měřit paliva, je nutné zařízení zkalibrovat, nebo-li zaznamenat zpětně do tabulky doby průtahů paliv se známým cetanovým číslem.

## 8. ODZKOUŠENÍ ZAŘÍZENÍ

Protože v době dokončování této práce nebyla ještě zhotovena mechanická část zařízení, nemohla se řídicí jednotka odzkoušet jako celek. Jednotlivé části však byly odzkoušeny samostatně.

### 8.1 Ventily V1 až V4

Pro správnou funkci ventilů je potřeba dodržet výrobcem stanovené napětí cívky elektromagnetu  $12\text{ V} \pm 10\%$ . Napětí dodávané jednotkou se dá do jisté míry ovlivnit kondenzátorem C205, který je umístěn za usměrňovačem D200 a diodou D204. Hodnota tohoto kondenzátoru byla stanovena experimentálně tak, aby při zapnutí jednoho i všech ventilů dohromady nebyla překročena povolená odchylka  $10\%$  z napětí  $12\text{ V}$ .

### 8.2 Topení

Topné těleso spalovací komory má příkon  $1200\text{ W}$  a jmenovité napětí  $230\text{ V}$ . Místo topného tělesa, které jsem neměl k dispozici, byla pro vyzkoušení výkonových obvodů topení jednotky použita horkovzdušná pistole o příkonu  $1250\text{ W}$ . Pro snadné připojení horkovzdušné pistole byl kabel vedoucí od spínacího relé topení opatřen zásuvkou. Při instalaci jednotky do zařízení se zásuvka odstraní a topné těleso se propojí kabelem přímo.

### 8.3 Vysokotlaké ventily W1 a W2

Pro správnou funkci vysokotlakých elektromagnetických ventilů W1 a W2 je potřeba dodržet správné průběhy napětí a proudů cívkami ventilů. Tyto průběhy byly nastaveny a ověřeny pomocí osciloskopu. Průběh proudu cívkou byl získán z napětí na 10 paralelně zapojených rezistorech R321 až R330 pro ventil W1 a R421 až R430 pro ventil W2. Napětí na cívkách elektromagnetu bylo měřeno přímo.

### 8.4 Měření tlaku piezoelektrickým čidlem

Funkce nábojového zesilovače byla ověřena přímo piezoelektrickým čidlem, které bude zabudované ve spalovací komoře. Změny tlaku byly vytvořeny pomocí závažové pumpy. Při zkoušení programu na měření cetanového čísla bylo nutné simulovat signál

z piezoelektrického čidla tlaku, aby bylo možné ověřit funkci výpočtu cetanového čísla. Jako simulátor byl použit naprogramovaný mikrokontrolér se dvěma D/A převodníky. První D/A převodník byl použit ve spojení s rezistorem k simulaci náboje (signál z piezoelektrického snímače tlaku), druhý D/A převodník na simulaci napětí čidla zdvihu jehly vstřikovače.

### 8.5 Měření zdvihu jehly

Signál z čidla zdvihu jehly vstřikovače nelze získat jinak, než zapojením vstřikovače do vysokotlakého okruhu vstřikování. Protože vstřikovací zařízení v době psaní této práce nebylo ještě dokončeno, byl použit, na vyzkoušení jednotky, pouze náhradní signál ze simulátoru, který byl popsán v kapitole 8.4. Při instalaci jednotky na měření cetanového čísla do zařízení je nutné správně nastavit konstantu čidla zdvihu jehly, aby úplnému otevření vstřikovače odpovídala hodnota v grafu 100 %.

### 8.6 Měření teplot

K odzkoušení funkce měřících obvodů termočlánků byly použity dvě teploty - teplota okolního vzduchu 21 °C a simulovaná teplota 1000 °C. Pro kontrolu teploty okolního vzduchu byl použit multimetr s funkcí měření teploty. Pro kontrolu teploty 1000 °C byl příslušný termočlánek nahrazen zdrojem napětí. Napětí bylo nastaveno na 39,6 mV (odpovídá napětí termočlánku typu „K“ jehož měřicí spoj má teplotu 1000 °C a srovnávací spoj teplotu 21 °C).

### 8.7 Měření tlaku

Čidlo tlaku DMP 331 nepotřebuje zvláštní napájení, protože jeho připojení je dvou vodičové. Jeho výstupní signál je 4-20 mA, kde hodnotě 4 mA odpovídá nulový relativní tlak a 20 mA odpovídá přetlak 2,5 MPa. Při zkoušení měření tlaku jednotkou bylo čidlo nahrazeno potenciometrem se sériově připojeným ampérmetrem a ověřovalo se, zda-li příslušným proudům odpovídá správný tlak.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout elektronickou jednotku na měření vznětlivosti motorových paliv. Součástí práce je také návrh a sestavení funkčního vzorku elektronické jednotky včetně zhotovení programu pro znázornění výsledné hodnoty cetanového čísla, průběhu tlaku a zdvihu jehly vstřikovače.

Největším úskalím bylo vyřešit elektronický systém pro řízení vstřiku paliva do spalovací komory zařízení. Jedná se o rychlý děj, ve kterém se pracuje s vysokými proudy (řádově desítkami ampér) a značnými napěťovými špičkami. Zvládnutí tohoto problému se mi podařilo pomocí výkonových unipolárních tranzistorů.

Dále bylo nutno měřit dobu průtahu paliva, k čemuž je použit piezoelektrický tlakový snímač. K sejmutí náboje jsem navrhl nábojově citlivý zesilovač, který je vytvořen z unipolárního operačního zesilovače s nízkým vstupním proudem. Pro zjištění doby průtahu je rovněž potřeba znát okamžik vstřiku paliva. K tomuto účelu jsem navrhl použít vstřikovač s indukčním čidlem vstřikovače.

Pro řízení celého systému jsem zvolil jednočipový mikropočítač C8051F060, protože má integrovány potřebné periférie a je dostatečně rychlý pro zvládnutí zadané úlohy.

Protože v době dokončení této práce nebyla ještě zhotovena mechanická část zařízení, nemohl jsem elektronickou jednotku odzkoušet jako celek. Jednotlivé části jsem odzkoušel samostatně.

**LITERATURA**

- [ 1 ] Matějovský, V.: Automobilová paliva. Grada 2005
- [ 2 ] Alaxin, P.: Nové směry v stanovení cetanového čísla. Medzinárodné sympóziium Motorové palivá 2004. Slovnaft Bratislava, Vyhne 2004.
- [ 3 ] Beroun, S., Scholz, C., Blažek, J.: Parametry hoření motorových paliv ve válci pístových spalovacích motorů. Medzinárodné sympóziium Motorové palivá 2002. Slovnaft Bratislava, Vyhne 2002.
- [ 4 ] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Sensory a měřicí obvody. ČVUT, Praha 1999
- [ 5 ] Stengl, J., Tihanyi, J.: Výkonové tranzistory MOSFET. BEN, Praha 1999
- [ 6 ] Robert Bosch GmbH: Elektronické řízení a regulace – Aktivace vstřikovacích systémů řízených elektromagnetickým ventilem, 2004, s. 66-72.
- [ 7 ] QC43D - Quartz Pressure Transducer – piezoelektrický snímač tlaku
- [ 8 ] AVL LIST GmbH: Operating manual AVL 3066A03 Piezo-Amplifier, July 2001.
- [ 9 ] Diagnostika vozidla SIS/CAS – Škoda/Octavia 1.9 TDi / 66 kW – firemní literatura
- [ 10 ] Písek, S.: Delphi – praktické příklady, podrobný průvodce začínajícího uživatele. Grada, Praha 2002
- [ 11 ] Katalogové listy součástek: [online] [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)
- [ 12 ] Výroba desek tištěných spojů: [online] [www.fm.vslib.cz/~kes/pcb\\_lab](http://www.fm.vslib.cz/~kes/pcb_lab)



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Schéma řídicí desky

Příloha 2 – Schéma desky napájení

Příloha 3 – Schéma desky řídicí elektroniky ventilu W1

Příloha 4 – Schéma desky řídicí elektroniky ventilu W2

Příloha 5 – Osazení řídicí desky

Příloha 6 – Osazení desek napájení, řídicí elektroniky ventilu W1 a řídicí elektroniky ventilu W2

Příloha 7 – Zobrazení řídicí jednotky měření cetanového čísla a panel ručního ovládání ventilů

Příloha 8 – Celkové zapojení řídicí jednotky

Příloha 9 – Podrobné údaje o termočláncích, čidle tlaku a ventilech

Příloha 10 – Seznam součástek řídicí desky

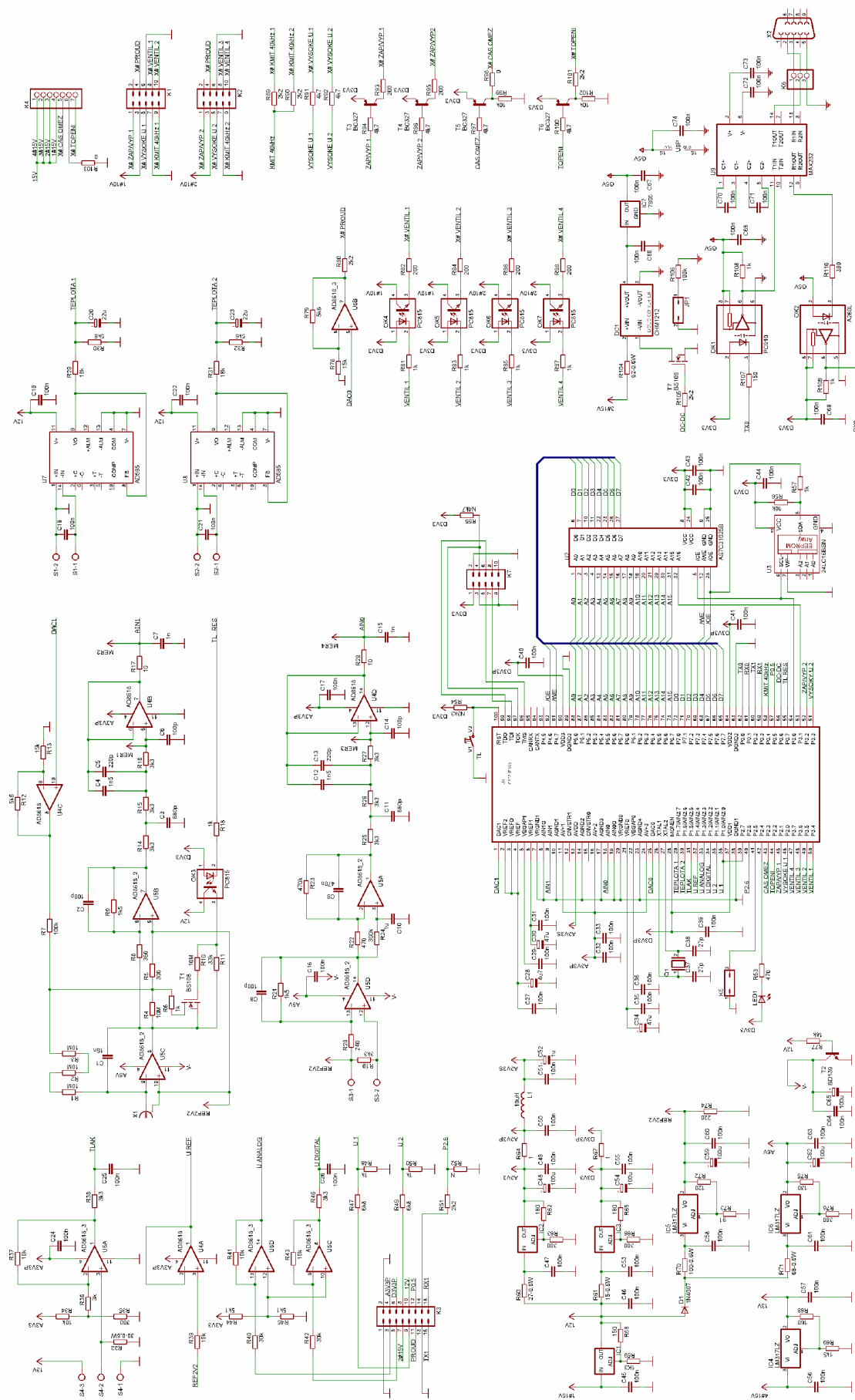
Příloha 11 – Seznam součástek řídicí desky

Příloha 12 – Seznam součástek desky napájení a desky řídicí elektroniky ventilu W1

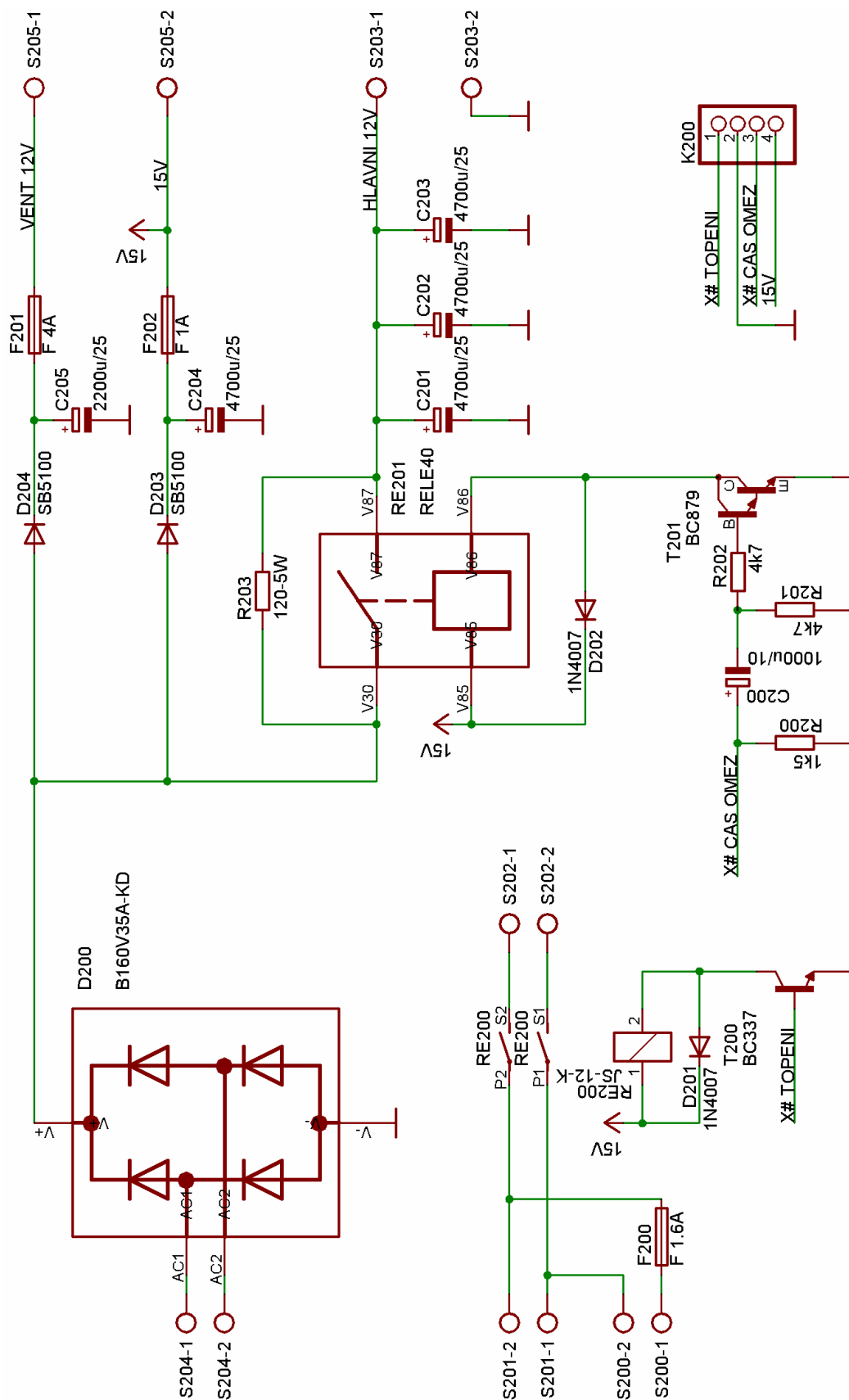
Příloha 13 – Seznam součástek desky řídicí elektroniky ventilu W1

Příloha 14 – Seznam součástek desky řídicí elektroniky ventilu W2

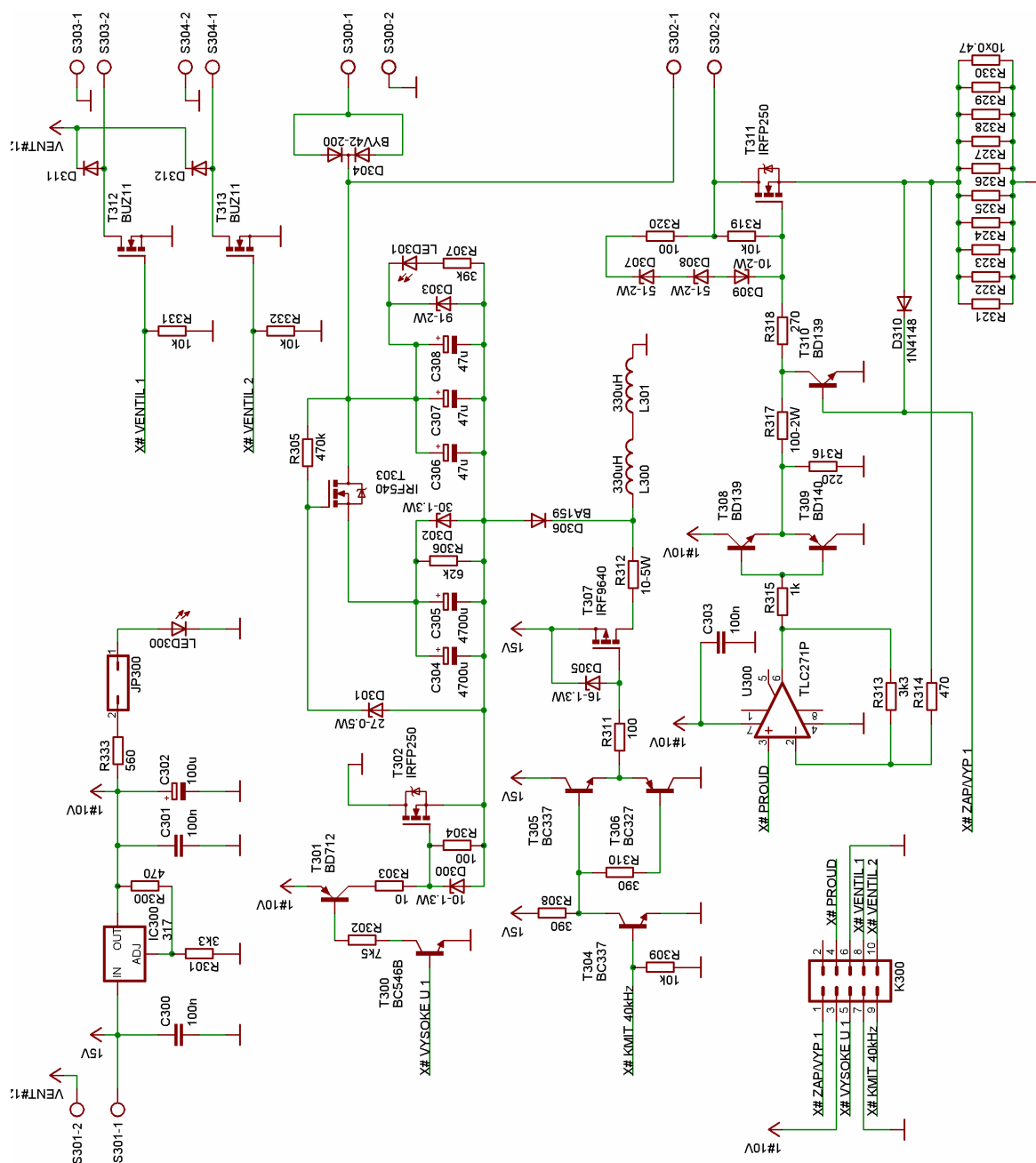
Příloha 15 – Seznam ostatních součástek



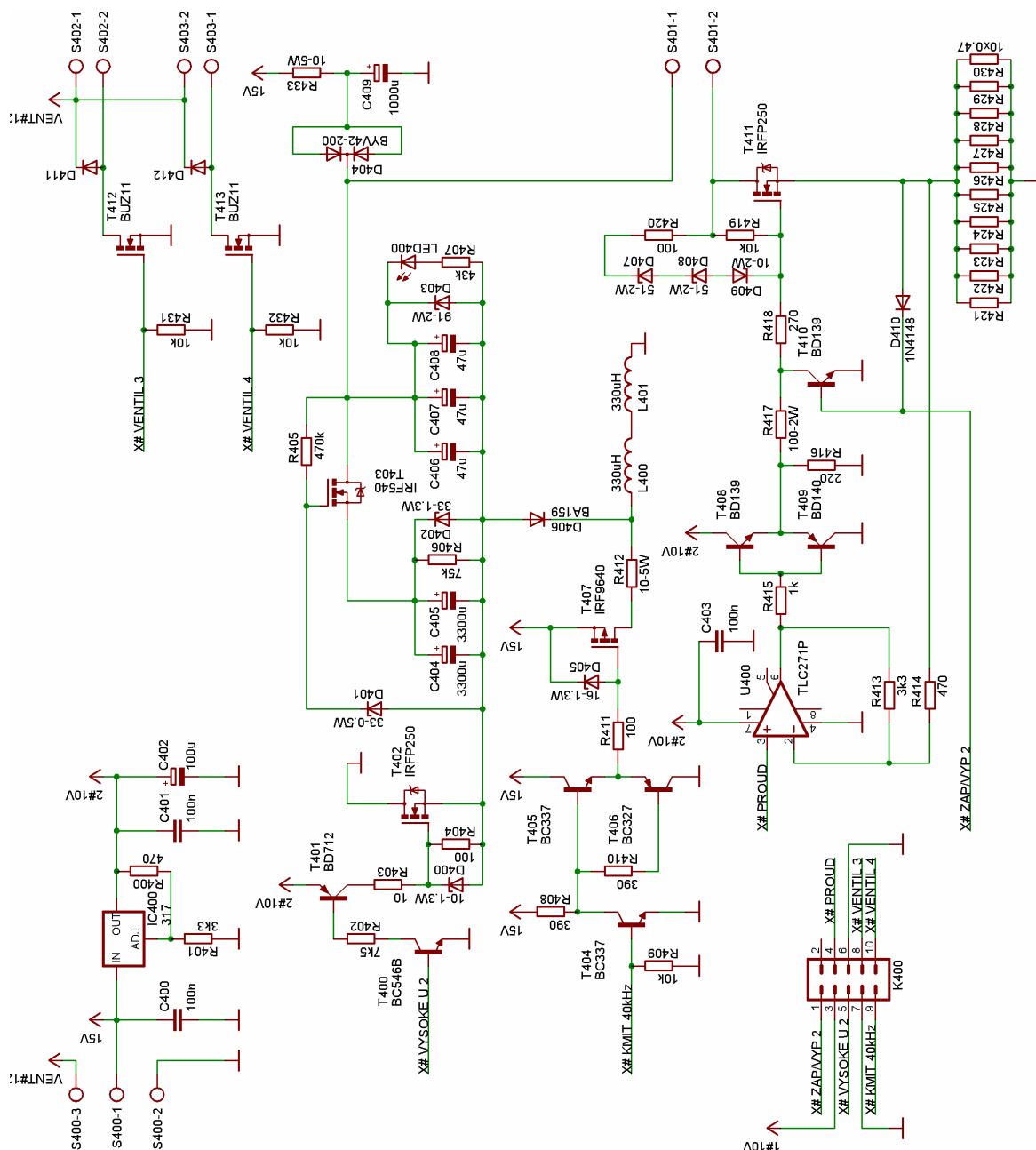
Obr. B.1: Schéma řídicí desky



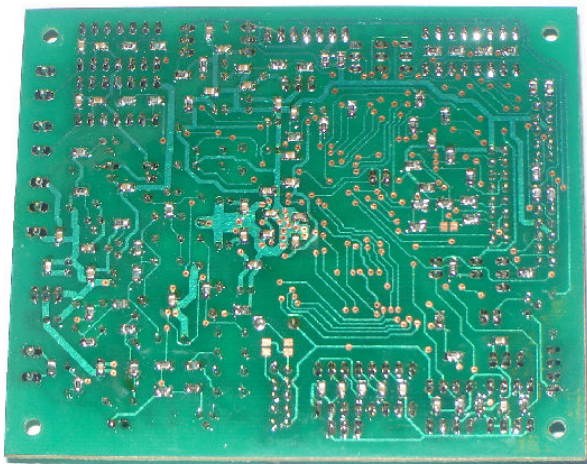
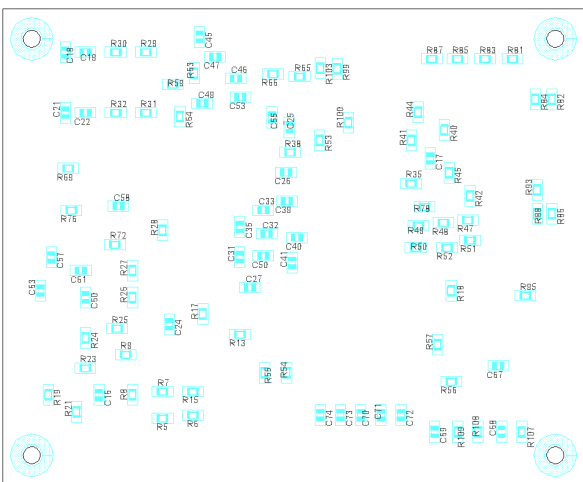
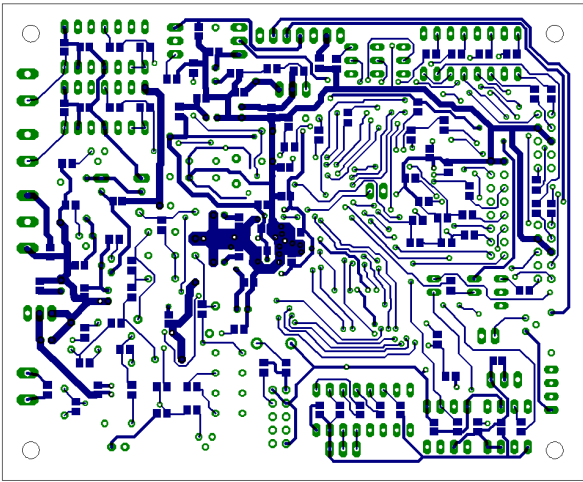
Obr. B.2: Schéma desky napájení



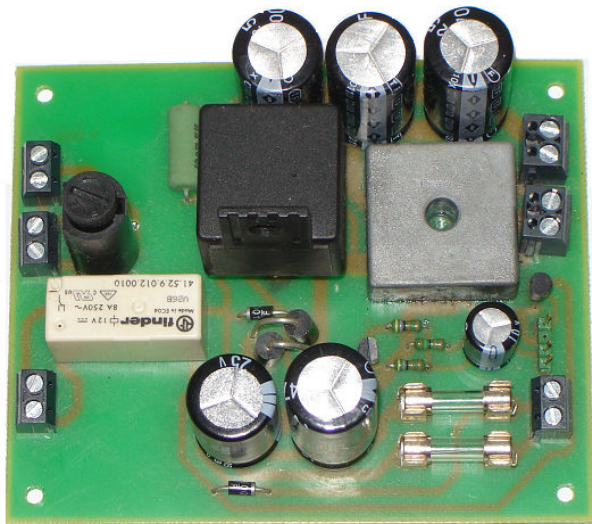
Obr. B.3: Schéma desky řídicí elektroniky ventilu W1



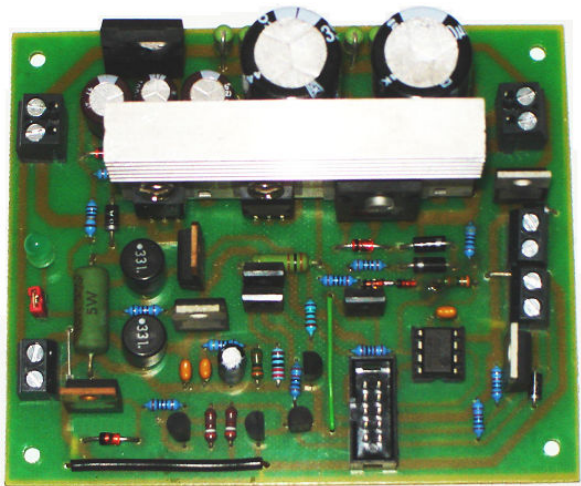
Obr. B.4: Schéma desky řídicí elektroniky ventilu W2



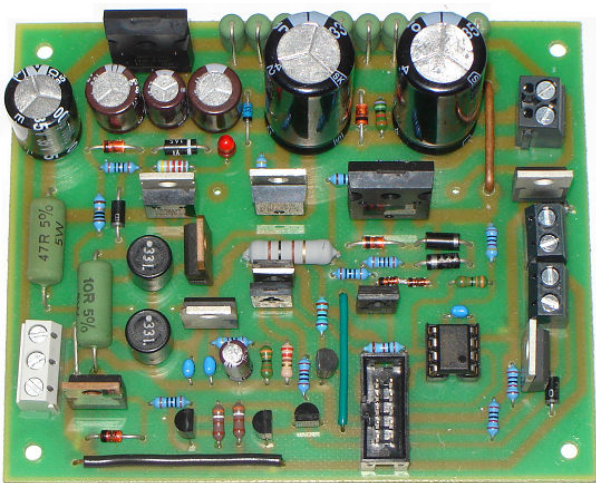




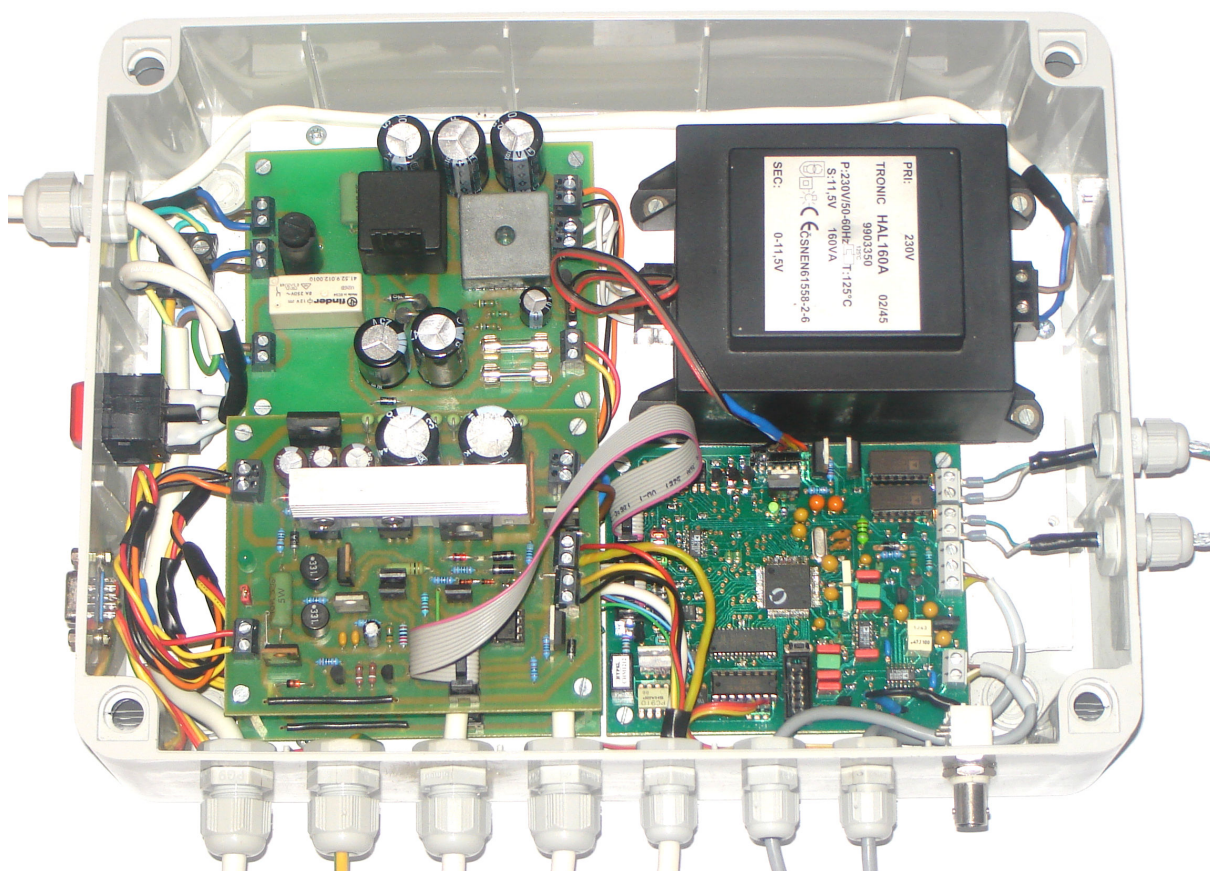
**Obr. B.6: Osazení desky napájení**



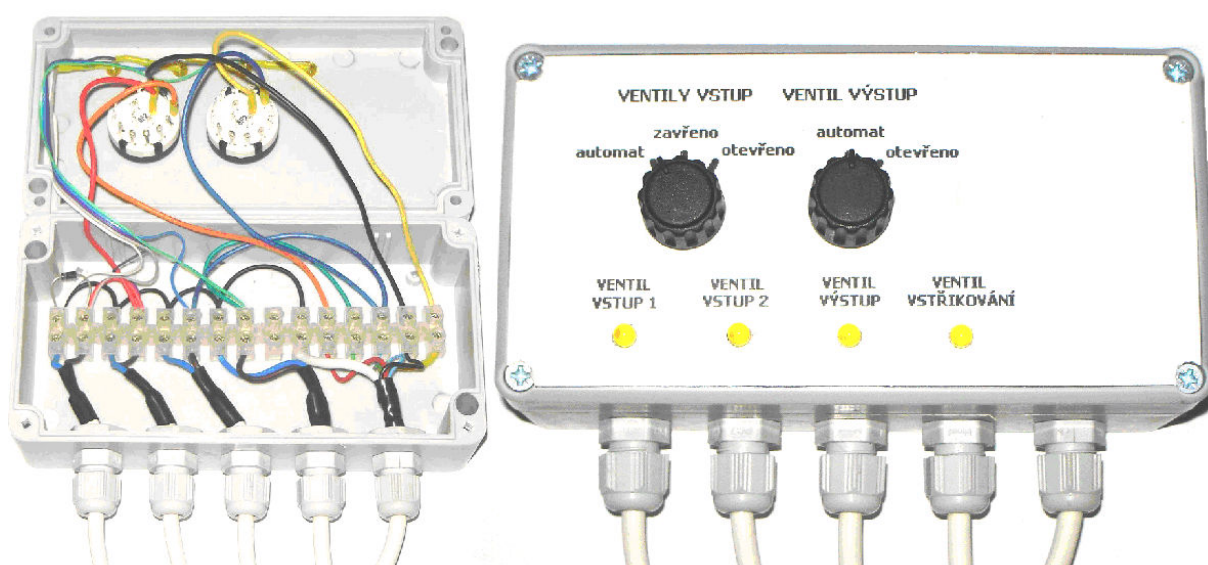
**Obr. B.7: Osazení desky řídicí elektroniky ventilu W1**



**Obr. B.8: Osazení desky řídicí elektroniky ventilu W2**

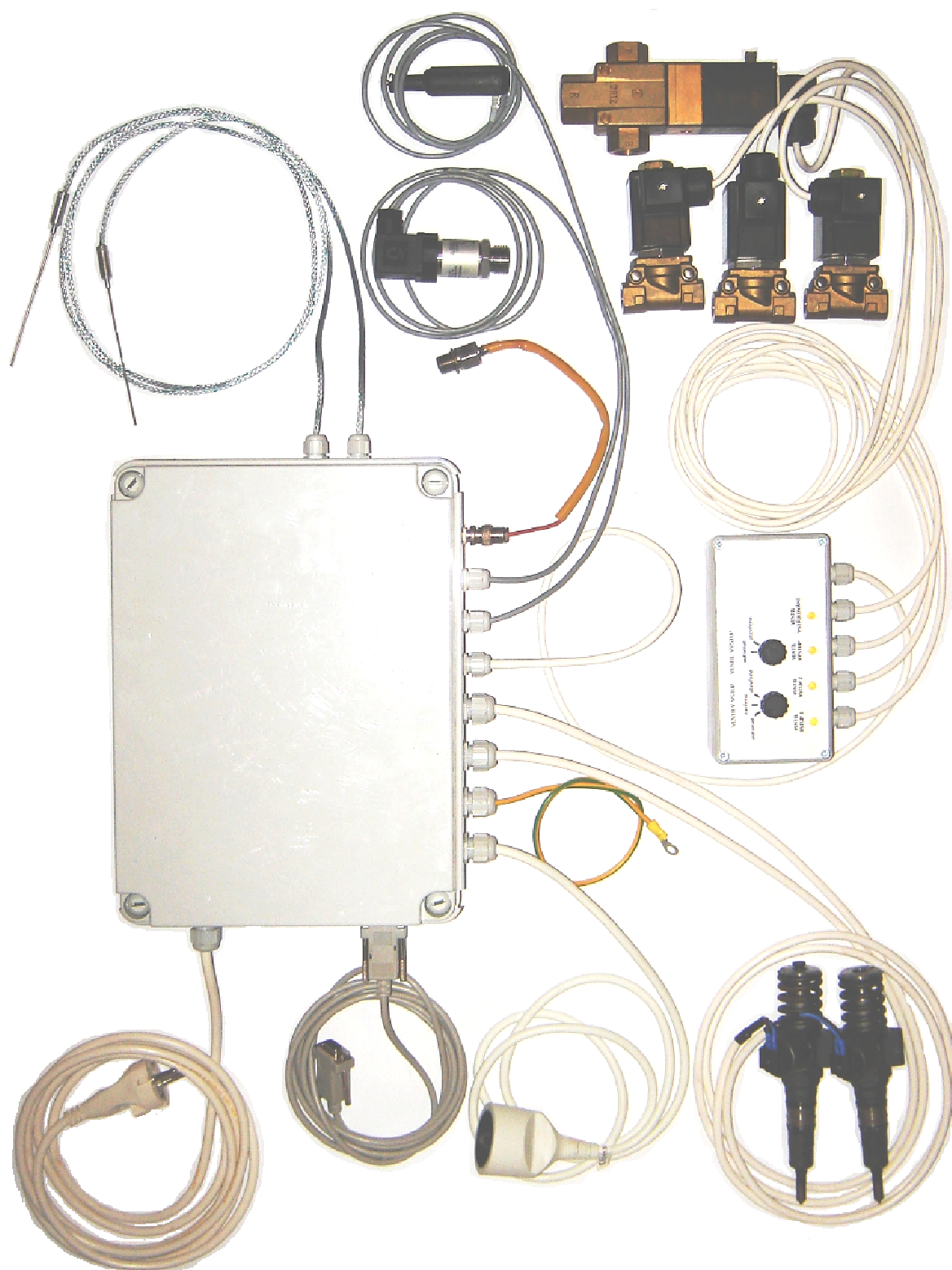


Obr. B.9: Řídicí jednotka měření cetanového čísla



Obr. B.10: Panel ručního ovládání ventilů





**Obr. B.11: Celkové zapojení řídicí jednotky**

**Snímač teploty termoelektrický bez ochranné armatury - 312**

Provedení pláštěvého termočlánku - s přechodkou a kompenzačním vedením (zn. C)

Průměr termočlánku - 1,5 mm (zn. 15)

Typ termočlánku - "K" NiCr-NiAl (zn. K)

Provedení termočlánku - jednoduchý (zn. J)

Měřicí konec termočlánku - izolovaný (zn. I)

Materiál pláště termočlánku - 1.4541 - 17 248 (zn. 1)

Toleranční třída - 2 (zn. 2)

Kompenzační vedení - skelné vlákno s kovovým opletením (zn. G)

Typ konektoru - bez konektoru (zn. 0)

Délka termočlánku L - 100 mm (zn. 100)

Délka kompenzačního vedení L1 - 1 m (zn. 1000)

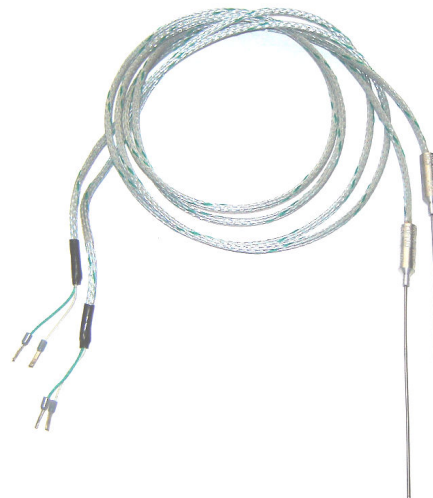
Objednávka: 312 C 15 K J I 1 2 G 0 / 100 / 1000 - 2 kusy

Údaje o firmě: ZPA Nová Paka, a.s.

Adresa: Pražská 470, 509 39 Nová Paka,

Telefon: 493 761 111, Fax: 493 721 194

www.zpanp.cz, e-mail zpanp@zpanp.cz

**Senzor tlaku**

DMP 331 - 1 kus

rozsah 0-25 bar

přesnost 0,25%

mechanické připojení - G1/2 DIN3852

dvouvodičové připojení, proudový výstup 4-20mA

el. připojení DIN43650

médium vzduch

Údaje o firmě: BHV senzory s.r.o.

Suchdolská 4

160 00 Praha 6 - Sedlec

tel.: 220 920 253, tel./ fax: 220 922 036

www.bhvsenzory.cz, e-mail: bhvsenzory@bhvsenzory.cz

**Ventily V1 – V4**

ventil 0255.....3 kusy (DN=1mm, tlak 0-100 bar, médium je vzduch, těsnění PTFE, napětí 12 V/ DC),

ventil 0340.....1 kus (DN=12mm, připojení G 1/2, napětí cívky 12 V/ DC, ventil NC)

Údaje o firmě: Bürkert Contromatic GmbH

Křenová 35

602 00 Brno

Tel: +420 543 252 505

Fax: +420 543 252 506

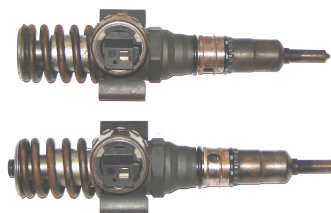
www.burkert.cz ,e-Mail: obchod@burkert.cz

**Sdružené vstřikovací jednotky s ventily W1 a W2**

Bosch PDB 027

0414720404

Typ 03G 130 073 G



Seznam součástek:**Řídicí deska**SMD velikost 0805

R98, R103	0	
R64, R67	1	
R17, R28	10	
R73	91	
R72	120	
R75	130	
R58, R107	150	
R68	160	
R62, R65	180	
R82, R84, R86, R88, R93, R95	200	
R74	220	
R20	240	
R5, R35, R63, R66	300	
R8	360	
R76, R110	390	
R22, R53	470	
R6, R18, R48, R50, R57, R81, R83, R85, R87, R108, R109	1k	
R59	1k3	
R9, R21, R69	1k5	
R51, R80, R89, R90, R101, R105	2k2	
R36	3k	
R14, R15, R16, R19, R25, R26, R27, R38, R46, (R54-neosazeno)	3k3	
(R55-neosazeno), R91, R92, R94, R96, R97, R100	4k7	
R44, R45	5k1	
R12, R30, R32, R79	5k6	
R47, R49	6k8	
R34, R37, R39, R41, R43, R56, R99, R102	10k	
R13, R78	15k	
R29, R31, R77	18k	
R40, R42	30k	
R11	33k	
R7, R106	100k	
R24	300k	
R23	470k	
R1, R2, R3, R4, R10	10M	
R52	neosazeno	

0.6 W

R61	15
R60	27
R33	30
R104	62
R71	68
R70	100

L1 10 µH

keramické

C37, C38	27p
C2, C8	100p

fóliové

C6, C14	100p
C5, C13	220p
C3, C11	680p
C7, C15	1n
C4, C12	1n5
C1	15n
C9	470n
C10	1u

tantalové

C52	1u / 25V
C28	4u7 / 25V
C20, C 23	22u / 16V
C30, C 34	47u / 6,3V
C48, C54	100u / 6,3V
C59, C62, C65	100u / 16V

SMD 100n, velikost 0805

C16, C17, C18, C19, C21, C22, C24, C25, C26, C27, C29, C31, C32, C33, C35, C36, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C49, C50, C51, C53, C55, C56, C57, C58, C60, C61, C63, C64, C66, C67, C68, C69, C70, C71, C72, C73, C74 – (celkem 46 ks)

U1	C8051F060	(výrobce: <a href="http://www.mysilabs.com">www.mysilabs.com</a> , dodavatel: <a href="http://www.hte.cz">www.hte.cz</a> )
U2	AS7C31025B	(dodavatel: <a href="http://www.hte.cz">www.hte.cz</a> )
U3	24LC16BSN	(dodavatel: <a href="http://www.pselectronic.cz">www.pselectronic.cz</a> )
U4, U5, U6	AD8618	(dodavatel: <a href="http://www.amtek.cz">www.amtek.cz</a> )
U7, U8	AD595AQ	(dodavatel: <a href="http://www.amtek.cz">www.amtek.cz</a> )
U9	MAX232	

IC1, IC2, IC3	LM317T
IC4, IC5, IC6	LM317L
IC7	7805

OK1	PC910X	(dodavatel: <a href="http://www.pselectronic.cz">www.pselectronic.cz</a> )
OK2	A260L	(dodavatel: <a href="http://www.pselectronic.cz">www.pselectronic.cz</a> )
OK3, OK4, OK5, OK6, OK7	PC815	

T1, T7	BS108
T2	BD139
T3, T4, T5, T6	BC327

D1	1N4007
----	--------

K3	Konektorový kolík lámací RM 2.54	S2G20
K7	MLW10G	
K1, K2	MLW10G + PFL10	
JP1	Konektorový kolík lámací RM 2.54	
K4, K5, K6	Konektorový kolík lámací RM 2.54	

S1, S2, S3	Svorkovnice AK500/2
S4	Svorkovnice AK500/3

X1	BNC-Z 50RW
X2	CAN 9 Z

TL	Tlačítko	
Q1	Krystal 24 MHz	
LED 1	LED dioda 3mm, zelená	
DC1	CHM1212	(dodavatel: www.hypel.cz)
Patice:	2x14, 16	

**Deska napájení**0,6 W

R200	1k5
R201, R202	4k7

5 W

R203	120
------	-----

elektrolytické

C200	1000 $\mu$ F/10V
C201, C202, C203, C204	4700 $\mu$ F/25V
C205	2200 $\mu$ F/25V

T200	BC337
T201	BC879

D200	B160V35A-KD
D201, D202	1N4007
D203, D204	SB5100

K200	Konektorový kolík lámací RM 2.54
------	----------------------------------

S200, S201, S202, S205	Svorkovnice AK500/2
S203, S204	Svorkovnice ARK120

RE200	RELE JS – 12 – K
RE201	RELE 40

SHH2 – 6 kusů	pojistková pouzdra
F200	pojistka T1,6A
F201	pojistka F4A
F202	pojistka F1A

**Deska řídicí elektroniky ventilu W1**0,6 W

R303	10
R304, R311, R320	100
R316	220
R318	270
R308, R310	390
R300, R314	470
R333	560
R315	1k
R301, R313	3k3
R302	7k5
R309, R319, R331, R332	10k
R307	39k
R306	62k
R305	470k

2 W

R321 – R330	0,47 $\Omega$
R317	100

5 W

R312	10
------	----

L300, L301	330uH
------------	-------

keramické

C300, C301, C303	100 n
------------------	-------

elektrolytické

C302	100 $\mu$ F/16V
C304, C305	4700 $\mu$ F/35V
C306, C307, C308	47 $\mu$ F/100V

U300	TLC271
------	--------

IC300	LM317T
-------	--------

T300	BC546B
T301	BD712
T302, T311	IRFP250
T303	IRF540
T304, T305	BC337
T306	BC327
T307	IRF9640
T308, T310	BD139
T309	BD140
T312, T313	BUZ11

D300, D309	Zenerova dioda 10 V, 1,3 W
D301	Zenerova dioda 27 V, 0,5 W
D302	Zenerova dioda 30 V, 1,3 W
D303	Zenerova dioda 82 V, 2 W
D304	BYV42-200
D305	Zenerova dioda 16 V, 1,3 W
D306	BA159
D307, D308	Zenerova dioda 51 V, 2 W
D310	1N4148
D311, D312	1N4007

K300	MLW10G + PFL10
JP300	Konektorový kolík lámací RM 2.54

S300, S302	Svorkovnice ARK120
S301, S303, S304	Svorkovnice AK500/2

LED 300	Led dioda 5mm, zelená
LED 301	Led dioda 3mm, zelená

Patice: 8

2 x Kabel plochý 10 – 15cm

**Deska řídicí elektroniky ventilu W2**0,6 W

R403	10
R404, R411, R420	100
R416	220
R418	270
R408, R410	390
R400, R414	470
R415	1k
R401, R413	3k3
R402	7k5
R409, R419, R431, R432	10k
R407	43k
R406	75k
R405	470k

2 W

R421 – R430	0,47 $\Omega$
R417	100

5 W

R412	10
R433	47
L400, L401	330uH

keramické

C400, C401, C403	100 n
------------------	-------

elektrolytické

C402	100 $\mu$ F/16V
C404, C405	3300 $\mu$ F/35V
C406, C407, C408	47 $\mu$ F/100V
C409	1000 $\mu$ F/35V

U400	TLC271
------	--------

IC400	LM317T
-------	--------

T400	BC546B
T401	BD712
T402, T411	IRFP250
T403	IRF540
T404, T405	BC337
T406	BC327
T407	IRF9640
T408, T410	BD139
T409	BD140
T412, T413	BUZ11

D400, D409	Zenerova dioda 10 V, 1,3 W
D401	Zenerova dioda 30 V, 0,5 W
D402	Zenerova dioda 33 V, 1,3 W
D403	Zenerova dioda 82 V, 2 W
D404	BYV42-200
D405	Zenerova dioda 16 V, 1,3 W
D406	BA159
D407, D408	Zenerova dioda 51 V, 2 W
D410	1N4148

D411, D412      1N4007

K400                      MLW10G + PFL10

S400                      Svorkovnice AK500/3

S401                      Svorkovnice ARK120

S402, S403              Svorkovnice AK500/2

LED 400                  Led dioda 3mm, červená

Patice: 8

2 x Kabel plochý 10 – 15cm

### **Ostatní součástky v řídicí jednotce**

Tr      HAL160A – 11.5V, 160VA      Bezpečnostní transformátor

Vyp      P-DS850LED-R      Kolébkový vypínač

GW 44 209                      Rozvaděč

PG7 – 5 kusů                      Vývodka

PG9 – 5 kusů                      Vývodka

DA5M3x10 – 12 kusů              Distanční sloupky

DA5M3x40 – 4 kusy              Distanční sloupky

M3-5 – 12 kusů                      Šroub

### **Součástky v panelu ručního ovládání ventilů**

Pr1, Pr2                  DS4                      Otočný přepínač

LED 500, LED 501, LED 502, LED 503      Led dioda 5mm, žlutá  
R500, R501, R502, R503                      750

Svorkovnice 12 – 2 kusy

PG7 – 5 kusů                      Vývodka